



Hodnocení procesních kapalin ze společnosti Paramo, a.s. z hlediska ulpívání na obrobku

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Taras Bogdashkin**
Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.





Assessment of process liquids from company Paramo, p.l.c. from the point of view of adhesion to the workpiece

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering
Author: **Taras Bogdashkin**
Supervisor: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.



Tento list nahradte
originálem zadání.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1277**

Jméno a příjmení: **Taras Bogdashkin**

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
Konzultant: Prof. Ing. Aleksey Popov, DrSc.
Ing. Miloslav Ledvina

Počet stran: 61
Počet příloh: 3
Počet tabulek: 14
Počet obrázků: 27
Počet diagramů: 8

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za cenné rady a předmětné připomínky při vedení mé bakalářské práce. Dále velice děkuji panu Ing. Miroslavu Ledvině za poskytnuté rady v průběhu řešení a za pomoc s realizací praktické části v laboratoři KOM.

Tímto děkuji také celé své rodině za podporu a trpělivost projevenou v průběhu mého studia vysoké školy.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
1 Úvod	11
2 Obrábění materiálů	12
2.1 Některé zvláštnosti třískového obrábění oceli a Al-slitin.....	12
3 Procesní kapaliny	14
3.1 Požadavky na procesní kapaliny.....	22
3.2 Druhy procesních kapalin	16
3.2.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny	16
3.2.2 Vodou nemísitelné procesní kapaliny.....	17
3.3 Volba procesní kapaliny podle způsobů obrábění	17
3.4 Volba procesní kapaliny pro obrábění ocelí a Al-slitin	18
4 Ulpívání procesních kapalin na obrobku.....	19
4.1 Smáčivost.....	19
4.2 Viskozita	19
4.3 Charakteristika fázového rozhraní	20
4.3.1 Mezimolekulární síly	20
4.3.2 Povrchová a mezifázová energie	21
4.3.3 Povrchové a mezifázové napětí	22
4.3.4 Úhel smáčení a Youngova rovnice smáčení rovinného povrchu	23
4.3.5 Faktory ovlivňující úhel smáčení	24
4.3.6 Adheze a adhezní práce	25
4.3.7 Koheze a kohezní práce, Harkinsův rozestírací koeficient.....	25
4.3.8 Adsorpce	26
4.3.9 Podmínky rovnováhy v systémech s významnou plochou FR.....	26
5 Experimentální metody měření	27
5.1 SEE Systém	27
5.2 Měření povrchového napětí kapkovou metodou	28
5.3 Stanovení úhlu smáčení na drsných rovinných površích.....	29
5.4 Stanovení viskozity.....	30
6 Základ metodiky experimentu.....	31
6.1 Charakteristika strojů, přístrojů a procesních kapalin	31
6.1.1 Frézka FNG 32	31
6.1.2 Bruska BPH 320A	33
6.1.3 Leštící stroj Tegamin-25	34
6.1.4 Laboratorní profilometr MITUTOYO SV-2000 N2	36

6.1.5	Refraktometr Optech Brix RLC/ATC	37
6.1.6	Fotoaparát Canon EOS 600D	37
6.1.7	Láh technický P 6413	38
6.1.8	Charakteristika procesních kapalin.....	39
6.1.9	Charakteristika materiálů zkušebních vzorků	39
7	Experimentální část řešení.....	40
7.1	Příprava zkušebních vzorků, procesních kapalin a stroje	40
7.1.1	Příprava zkušebních vzorků.....	40
7.1.2	Příprava procesních kapalin	40
7.1.3	Příprava stroje.....	41
7.2	Popis metodiky experimentu	41
7.2.1	Postup realizace experimentu	42
7.2.2	Postup vyhodnocení experimentu.....	42
8	Vyhodnocení experimentu	44
8.1	Porovnání naměřených hodnot	51
8.1.1	Broušený vzorek z oceli ČSN 14 220.3.....	51
8.1.2	Frézovaný vzorek z oceli ČSN 14 220.3	51
8.1.3	Broušený vzorek z Al-slity ČSN 42 4254	52
8.1.4	Frézovaný vzorek z Al-slity ČSN 42 4254	52
8.1.5	Ulpívání procesních kapalin na různých zkušebních vzorcích.....	53
9	Závěr.....	55
	Seznam použité literatury	57
	Seznam příloh	61

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratky:

A	minerální oleje
B	mastné oleje
C	maštěné oleje s přísadami
D	emulze
E	minerální oleje s přísadami
F	lehké minerální oleje s přísadami
FR	fázové rozhraní
g	plynné prostředí (gas)
H	oleje aditivované
J	maštěný olej s přísadami
l	kapalina (liquid)
PK	procesní kapalina
s	tuhá látka
T	těžiště kapky

Symboly:

A_{FR}	$[m^2]$	plocha nově vzniklého fázového rozhraní
c	$[m.s^{-1}]$	relativní rychlost proudění kapaliny
c_0	$[m.s^{-1}]$	relativní rychlost proudění kapaliny na povrchu obrobku
D	$[m]$	průměr kapky
F	$[N]$	tečná síla, působící ve směru povrchu fázového rozhraní
F_G	$[N]$	tíhová síla kapky
F_σ	$[N]$	síla povrchového napětí
g_g	$[m.s^{-2}]$	gravitační zrychlení
K	$[-]$	refrakční index koncentráту procesní kapaliny
l_{FR}	$[m]$	délka fázového rozhraní
m_k	$[kg]$	hmotnost kapky
p	$[mN.m^{-1}]$	povrchový tlak na fázovém rozhraní
pH	$[-]$	vodíkový exponent
R	$[m]$	vzdálenost vektoru rychlosti proudění kapaliny od povrchu obrobku
r	$[m]$	poloměr kapiláry
R_a	$[\mu m]$	průměrná aritmetická úchylka profilu
RK	$[\%]$	koncentrace naměřená refraktometrem
SK	$[\%]$	skutečná hodnota koncentrace

S_R	$[mJ.m^{-2}]$	Harkinsův rozestírací koeficient
V	$[m^3]$	objem kapky
W_A	$[mJ.m^{-2}]$	adhezní práce
W_K	$[mJ.m^{-2}]$	kohezní práce
W_r	$[J]$	izotermická vratná práce potřebná ke zvětšení plochy rozhraní
β	$[-]$	koeficient drsnosti povrchu
γ	$[mJ.m^{-2}]$	mezifázová (povrchová) energie
γ_{lg}	$[mJ.m^{-2}]$	povrchová energie kapaliny (rozhraní kapalina/plyn)
γ_{ls}	$[mJ.m^{-2}]$	mezifázová energie (rozhraní tuhá látka/kapalina)
γ_s	$[mJ.m^{-2}]$	povrchová energie čisté tuhé látky (rozhraní tuhá látka/plyn)
γ_{sg}	$[mJ.m^{-2}]$	povrchová energie tuhé látky (rozhraní tuhá látka/plyn)
θ	$[^\circ]$	úhel smáčení (kontaktní úhel)
θ_A	$[^\circ]$	postupující úhel při postupu kapaliny na tuhém povrchu
θ_R	$[^\circ]$	ustupující úhel při ústupu kapaliny na tuhém povrchu
π	$[-]$	matematická konstanta
σ	$[mN.m^{-1}]$	mezifázové (povrchové) napětí

1 Úvod

Procesní kapaliny podstatně ovlivňují celý proces obrábění tím, že mají vliv na trvanlivost bříty nástroje, teplotu v místě řezání, řezné síly a vlastnosti povrchové vrstvy obrobku.

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku hodnocení procesních kapalin ze společnosti Paramo, a.s. z hlediska ulpívání na obrobku. Řešení bylo realizováno v rámci projektu „Ekologické obráběcí kapaliny nové generace“, který byl podporován z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím České republiky – Technologické agentury České republiky (projekt TA02021332). Použity byly tyto procesní kapaliny:

- ESOK 1.0D,
- ESOK 1.0E,
- ESOK 1.1B,
- ESOK 1.1F.

Hlavním cílem je:

- porovnat procesní kapaliny z hlediska ulpívání, najít a vyhodnotit závislosti mezi množstvím ulpělé kapaliny a drsností povrchu zkušebních vzorků, viskozitou procesní kapaliny.

Dílními cíli jsou:

- ověřit funkčnost metody hodnocení procesních kapalin z hlediska ulpívání na obrobku, která byla v rámci řešení projektu TA02021332 nově navržena v diplomové práci pana J. Stryala;
- ověřit přesnost metody z většího počtu měření a následného statistického vyhodnocování výsledků;
- zjistit závislost mezi množstvím ulpělé kapaliny a materiálem, z kterého byl vyroben zkušební vzorek;
- aplikace metody pro zkušební vzorky z Al-slitiny;
- navrhnout způsoby zdokonalení dané metody.

2 Obrábění materiálů

Obrábění je jedna z nejdůležitějších technologií používaných ve strojírenství. Je to technologický proces, při němž vytváříme součásti požadovaného tvaru, rozměrů, jakosti povrchu a druhu spojení odebráním nebo oddělováním částic materiálu pochody fyzikálními a chemickými, popř. jejich kombinacemi [1].

Fyzikální podstatou třískového obrábění je řezání, při kterém je oddělováno jisté množství materiálu, tzv. přídavek na obrábění, mechanickým účinkem nástroje, jehož řezná část má tvar klínu a je tvrdší než obráběný materiál [2]. Řezání je proces vtlačování řezného klínu nástrojů do obráběného materiálu, přičemž dochází k porušení soudržných sil materiálu, který se odděluje ve formě třísky jako odpadu [3].

2.1 Některé zvláštnosti třískového obrábění oceli a Al-slitin

Při obrábění nelegovaných ocelí je třeba věnovat zvláštní pozornost problémům s dělením třísek a sklonům k ulpívání materiálu na břit. Vysoké řezné rychlosti, ostré břity, geometrie nástrojů s pozitivním úhlem čela a slinuté karbidy s tenkým povlakem pomáhají snižovat tendence k ulpívání materiálu na břitu. Pro zlepšení dělení třísky při soustružení je doporučeno, aby hloubka řezu byla blízká nebo byla větší, než je poloměr špičky nástroje.

Obrobitelnost nízkolegovaných ocelí závisí na obsahu legujících prvků a tepelném zpracování. Při obrábění vzniká v místě řezu větší množství tepla, což může mít za následek plastickou deformaci břitu nástrojů. Obrobitelnost vysokolegovaných ocelí taky klesá se zvyšujícím se podílem legujících prvků a rostoucí tvrdostí. Je nutná velmi dobrá tepelná odolnost břitu, aby dokázal odolat plastické deformaci [4].

Obrobitelnost feritických a martenzitických korozivzdorných ocelí je dobrá a velmi podobná jako u nízkolegovaných ocelí. Při jejich obrábění dochází k opotřebení hřbetu nástrojů a opotřebení ve tvaru žlábků, s určitými sklony k tvorbě nárůstku [4]. Austenitické a feriticko-austenitické (duplexní) korozivzdorné oceli mají sklon k vytváření dlouhé, obtížně dělitelné třísky a k mechanickému zpevnění povrchu, proto je žádoucí, aby řez probíhal pod mechanicky zpevněnou vrstvou. Při soustružení se doporučuje vždy použít procesní kapalinu, která snižuje vliv účinků tepla a opotřebení nástrojů. Pro zametení vzniku otřepů či nárůstku je vhodné použít geometrii nástroje s pozitivním úhlem čela a ostré břity [6].

Duplexní oceli, které mají vyšší mechanickou pevnost, se hůře obrábí, vyžadují proto břitové destičky s dobrou pevností břitu u malé úhly nastavení. Při hrubovacím frézování se pro eliminaci vzniku nárůstku doporučují vysoké řezné rychlosti (150 až $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) a pro vyloučení tepelných trhlin je na rozdíl od soustružení vhodná práce za sucha. Je-li nutné použít při dokončovacím frézování pro lepší kvalitu povrchu procesní kapalinu, pak je vhodné využít olejovou mlhu. Při vrtání mohou vzniknout problémy s odváděním třísky, proto je třeba pečlivě volit řeznou geometrii nástroje [6].

Tvrzené oceli z pohledu obrábění představují nejmenší skupinu a nejčastěji prováděnou obráběcí operací je u nich dokončování. Řezné síly a požadavky na výkon jsou poměrně vysoké. Materiál obráběcího nástroje musí mít dobrou odolnost proti plastické deformaci, chemickou stabilitu, mechanickou pevnost a odolnost proti abrazivnímu opotřebení.

Řezná rychlost při obrábění ocelí závisí na zvolené metodě obrábění a na druhu zvoleného nástrojového materiálu [4].

Hliník a jeho slitiny se při obrábění za sucha řadí k problematickým materiálům přes nízké mechanické vlastnosti. Je to způsobeno nízkou teplotou tavení, vysokou tepelnou vodivostí a sklonem k adhezi. U hliníku a Al-slitin dochází díky nízké teplotě tavení k problému s utvářením třísky a jejím následným odvodem. V případě utváření dlouhé spojitě třísky je zapotřebí utvářeč třísky, který zamezuje namotávání na nástroj a redukuje délku třísky [5].

Al-slitiny s vyšším obsahem křemíku jsou extrémně abrazivní, a proto se k jejich opracování používají nástroje na bázi polykrystalického diamantu. Problém představuje tvorba nárůstku, což vede ke vzniku otřepů nebo zhoršení kvality obroběného povrchu. Řešením je vyšší řezná rychlost a použití nástroje s ostrým břitem a pozitivní geometrií. Při obrábění Al-slitin je výhodné použít procesní kapalinu. Hlavní funkcí procesní kapaliny je znesnadnění ulpívání částic materiálu na břitu nástrojů a odvádění třísek z pracovního prostoru. Řezné rychlosti při nasazení nástrojů z nepovlakovaných tříd slinutých karbidů dosahují $1000 - 2000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, při nasazení nástrojů z polykrystalických diamantů až $3000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ [6].

3 Procesní kapaliny

Prostředí, ve kterém probíhá řezný proces, ovlivňuje svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi ekonomické i kvalitativní výsledky obrábění. Vhodně zvolené řezné prostředí může zvýšit hospodárny úběr o 50 až 100 % proti práci za sucha. Řezné prostředí tvoří nejčastěji kapaliny, plyny nebo kapalinové mlhy. Nejvíce používané jsou ovšem procesní kapaliny (PK), [7].

PK mohou díky svým chemickým i mechanickým vlastnostem proces obrábění významně ovlivnit. Hlavním požadavkem, kladeným na PK, je aby účinně zlepšovaly trvanlivost nástrojů a jakost obrobeného povrchu [8].

3.1 Požadavky na procesní kapaliny

PK musejí umožnit obrábět při co největší hospodárnosti. To znamená zajistit co největší trvanlivost nástrojů a jakosti obrobku při malé spotřebě energie, na což má vliv mazací, čistící, chladicí a ochranný účinek procesní kapaliny. Dalšími velice důležitými faktory jsou zdravotní nezávadnost, hospodárnost a provozní stálost [7].

Chladicí účinek

Chladicí účinek udává schopnost kapaliny odvádět teplo vyprodukované při obrábění z místa řezu. Pokud by se teplo neodvádělo z místa řezu, docházelo by k jeho hromadění v oblasti řezání. Důsledkem by byl vznik nepřesností rozměrů obrobku, docházelo by ke změně mechanických vlastností v povrchové vrstvě obrobku a k rychlému opotřebení nástroje. Hlavní vliv na chladicí účinky PK mají: povrchové napětí, výparné teplo, rychlost vypařování, tepelná vodivost, měrné teplo a pěnovitost [8].

Mazací účinek

Mazací účinek je schopnost kapaliny vytvořit na povrchu kovu vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření. Mazací účinek znamená proto zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu [9].

Čistící účinek

Jedním z hlavních úkolů PK je odstraňování třísek. Jejich vzájemné shlukování a slepování s prachem z ovzduší má vliv na zhoršení řezné schopnosti nástrojů a může zapříčinit poškození funkčních ploch obráběcích strojů. Má-li mít PK dobrý čistící účinek, nesmí lepit a musí dovolovat snadné a rychlé usazování nečistot. Kapaliny s malou viskozitou jsou pro tento účel nejvýhodnější [7].

Kvalita čištění závisí i na čistotě kapaliny, proto je nutné odstraňovat nečistoty, které kapalina odplavila [9].

Provozní stálost

Každá procesní kapalina by co možná nejdéle měla zůstat bez změny vlastností v provozuschopném stavu. Čím jsou intervaly výměny kapaliny delší, tím menší jsou náklady na PK samotnou. Stárnutí PK olejného typu se projevuje zvětšením pěnivosti, zmenšením chladicího účinku, ztrátou ochranných vlastností a korozí. Stálost při uskladnění je základním předpokladem provozní stálosti. Příznivý vliv na stálost mají velké nádrže, opatření proti pění, odstraňování nečistot a pravidelná výměna náplně [7].

Ochranný účinek

Ochranný účinek PK se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Toto je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, aby se také stroje chránily před korozí. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do PK přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dalším důležitým požadavkem je to, aby PK nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči pryžovým těsněním [11].

Zdravotní nezávadnost

Zdravotní nezávadnost PK vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích obsluha přichází do styku s kapalinou. Proto PK nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždivé sliznici a pokožku a nesmí být jedovatá. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost PK závisí také na jejich provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky [9].

Přiměřené náklady

Přiměřené náklady především se spotřebou PK. Při rozboru nákladů na PK je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Po tomto rozboru musí následovat hodnocení PK s ohledem na její provozní stálost, spotřebu a výměnu. Je třeba zvážit i náklady na likvidaci PK [10]. Usuzovat podle cenových rozdílů je zcela nedostatečné, jelikož PK výrazně ovlivňují kritéria, která rozhodují o ekonomii obrábění v rozsahu vyšším, než je hodnota spotřebovaných kapalin [7].

3.2 Druhy procesních kapalin

Použití jednotlivých kapalin je ovlivněno požadavky, které jsou na ně kladeny. Na jednotlivé účinky kapaliny jsou kladeny buď vyšší, nebo menší nároky, z čehož vychází základní druhové rozdělení kapalin na kapaliny s převažujícím chladícím účinkem (vodou mísitelné) a převažujícím mazacím účinkem (vodou nemísitelné), [12].

3.2.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny

Vodné roztoky

Základní složku vodných roztoků tvoří voda. Výhodou je dobrá chladicí schopnost, čistící účinek, průhlednost a nízká cena. Vodné roztoky však mají i mnoho nedostatků, z nichž nejdůležitější je špatná mazací schopnost, odpařivost a špatná korozní odolnost. Chceme-li použít vodu jako PK, je nutné ji zbavit nevhodného obsahu solí a přidat přísady, které jí dají požadované vlastnosti [7].

Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny jsou disperzní soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. Obvykle se jedná o olej ve vodě. Přitom je třeba využít další složky tzv. emulgátory. Tyto látky zmenšují povrchové napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi. Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze, ale v daleko menší míře než u vodních roztoků. Emulgační prostředky musí splňovat požadavky především na jakost a spolehlivost účinku při vysokých tlacích [11].

Syntetické kapaliny

Syntetické kapaliny jsou charakterizovány jako homogenní roztok vzájemné mísitelných látek, který neobsahuje olej. Mají dobrý chladicí a vyplachovací účinek, proto se často uplatňují u brousících operací. Výhodou syntetických kapalin je velká provozní stálost, dobré chladicí, mazací a ochranné vlastnosti. Mají delší životnost, dobrou biologickou odolnost, lepší stabilitu pH a jsou špatně hořlavé [7].

Polosyntetické kapaliny

Polosyntetické kapaliny jsou minerální oleje, které jsou doplněny syntetickými komponenty. Výroba spočívá v přidání určitého procenta syntetické složky do minerálního oleje. Polosyntetické kapaliny vytvářejí ochranný film, který vytváří účinnou antikorozi ochranu. Ve srovnání s běžnými PK mají prodlouženou provozní životnost a dobře odplavují třísku [7].

3.2.2 Vodou nemísitelné procesní kapaliny

Minerální oleje

Hlavní složkou je minerální (těž zvaný ropný) olej. Minerální olej se získává frakční destilací ropy. Je to průhledný bezbarvý olej složený především s alkanů a cyklických parafinů. Jeho velkou výhodou je snadná dostupnost a nízká cena. Oleje se vyznačují dobrou mazací schopností ale horším chladicím účinkem. Mají velmi dobrou odolnost proti stárnutí a velmi dobrý ochranný účinek. Nepodléhají bakteriálnímu rozkladu [8]. Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje. Zušlechťují se organickými sloučeninami síry, fosforu a chloru, dále pak pevnými mazivy a přísadami mastných látek [7].

Mastné oleje a tuky

Mastné oleje a tuky jsou látky živočišného a rostlinného původu, jsou složeny z příměsí mastných kyselin. Mají menší povrchové napětí, dobrý odvod tepla, dobrou mazací schopnost a smáčivost. Nevýhodou je značný sklon k stárnutí, houstnutí oleje a zalepování funkčních ústrojí stroje. Používají se jen zřídka při operacích s malými řeznými rychlostmi [7].

Syntetické oleje

Syntetické oleje jsou založeny na bázi polyglykolu. Mezi jejich kladné vlastnosti bezesporu patří jejich dlouhá životnost, která je mimo jiné způsobena faktem, že v PK nedochází k bakteriálnímu rozkladu. Z toho částečně vyplývá i jejich zdravotní a ekologická nezávadnost, na kterou je v poslední době kladen vyšší důraz. Další výhodou syntetických olejů jsou poměrně vysoké body jak vzplanutí, tak i tuhnutí, což může usnadnit proces obrábění [8].

Koncentráty vysokotlakých přísad

Koncentráty vysokotlakých přísad se používají ve směsi s jinými PK, zpravidla ropnými oleji. Jedná se o různé koncentrace v závislosti na řezných podmínkách. Koncentráty vysokotlakých přísad zabraňují samotné tvorbě nárůstu. Tyto PK se nejčastěji používají při výrobě závitů, výrobě ozubení a to při řezných rychlostech kolem $2 - 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ [12].

3.3 Volba procesní kapaliny podle způsobů obrábění

Vhodné zvolení PK pro danou technologii obrábění je velmi těžké, protože je závislé na mnoha vlivech, se kterými je nutné počítat. V praxi se většinou můžeme setkat se dvěma možnými skupinami, které udávají hlavní zásady pro optimální výběr. První z nich je skupina, které má přímý vliv na opotřebení nástroje, rozměrovou jakost výrobku a

finanční náklady. Druhá skupina nemá přímý vliv na výrobu ale spíše na provozní stálost kapaliny, její údržbu a cenu [9].

Jsou operace, které vyžadují převážně chladicí účinek (broušení, řezání pilou a jemné vyvrtávání), operace, které vyžadují i chladicí i mazací účinek PK (frézování, soustružení, odražení, hoblování, tvarové broušení, rychlostní broušení) a operace s převažujícím mazacím a řezným účinkem (vystružování, řezání závitů, hluboké vrtání, protahování a protlačování), (viz tab. 1), [12].

3.4 Volba procesní kapaliny pro obrábění ocelí a Al-slitin

Při volbě procesní kapaliny pro obrábění ocelí je potřeba zvážit pevnost, tepelnou vodivost a chemickou stálost oceli. Se zvyšováním pevnosti se zvyšují tlaky na čelo, hřbet nástrojů a přímo úměrně s tím se zvyšují nároky na PK, především na mazací účinek. Pro dosažení požadovaných účinků se zvyšuje obsah povrchově aktivních látek, které jsou schopny vytvářet pevnější adsorpční vrstvy. Pro obrábění ocelí tříd 10, 11, 12 s pevností do 450 MPa a nad 700 MPa jsou vhodné emulze, polosyntetické a syntetické PK. Pro obrábění slitinových ocelí s pevností 500 – 700 MPa se používají kromě emulze i mastné látky, mastné řezné oleje a oleje s přísadami chemických látek. Pro obrábění ocelí s pevností pod 500 MPa a nad 800 MPa jsou vhodné řezné oleje s chemickými přísadami a koncentráty vysokotlakých přísad [12].

Metoda obrábění	Materiál								
	Nízko- uhlíková ocel	Ocel s vyšším obsahem uhlíku	Nerezové oceli	Litina	Nikl a jeho slitiny	Bronz a mosaz	Měď a její slitiny	Hliník a jeho slitiny	Hořčík a jeho slitiny
Soustružení	D 3	D 5	D 10	-	E	D 3	D 3	D 3	B
Vrtání a vystružování	E, D 10	F	J	D 5	E	B	B	B	B
Frézování	D 5	D 5	D 10	D 5	F	B	D 3	D 3	B
Řezání závitů	H	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Řezání závitů na automatech	E	H	H	-	H	B	A	C	B
Válcování závitů	F	F	F	-	-	C	A	B	A
Řezání pilou	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	B
Výroba ozubení	E	F	J	D 5	-	B	-	-	-
Protahování	J	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Broušení	D 2	D 2	D 2	D 2,5	D 2	D 2	D 2	D 2	B
Broušení závitů	J	J	J	-	-	C	-	C	C
A – minerální oleje B – mastné oleje C – maštěné oleje s přísadami D – emulze (číslo značí koncentraci v %)									E – minerální oleje s přísadami F – lehké minerální oleje s přísadami H – oleje aditivované J – maštěný olej s přísadami

Tab. 1. Přehled použití procesních kapalin podle způsobů obrábění [10]

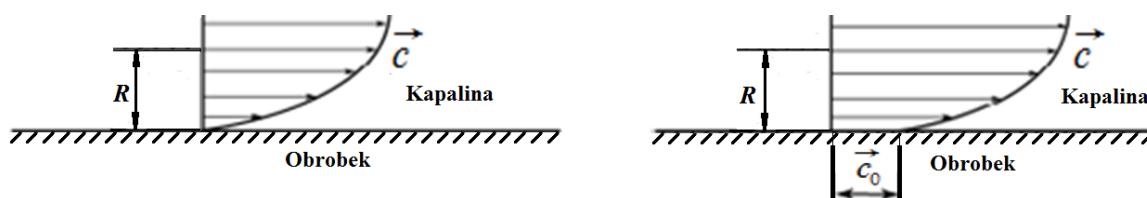
4 Ulpívání procesních kapalin na obrobku

Při obtékání těles dochází k ulpívání PK na povrchu obtékaného tělesa. Materiál a jeho povrch významně ovlivňují svými fyzikálními vlastnostmi obtékání PK. Smáčivost a viskozita kapaliny mají výrazný vliv na množství kapaliny, která na obrobku ulpí [7].

4.1 Smáčivost

Smáčivost je schopnost kapaliny udržovat kontakt s pevným povrchem, vyplývající z mezimolekulární interakce. Stupeň smáčení je určen projevem adhezních a kohezních sil, což jsou přitažlivé a odpudivé síly částicemi povrchových vrstev dvou stýkajících se látek. Smáčivost je důležitá při lepení nebo přilnavosti dvou materiálů [14]. Závisí na druhu kapaliny a pevné látky [15].

Při špatném smáčení kapalina neulpívá na pevném povrchu [16]. Dobře smáčivá kapalina ulpívá na povrchu tělesa a relativní rychlost c proudící kapaliny je na povrchu obrobku nulová. Rychlostní profil se úměrně parabolický zvětšuje s rostoucí vzdáleností R od povrchu tělesa [7]. Rozdíl při proudění kapalin kolem smáčivého a špatně smáčivého povrchu je zřejmý. Ovšem při špatné smáčivosti, kdy platí podmínka prokluzování kapaliny na povrchu tělesa, není relativní rychlost kapaliny c_0 na obrobku nulová (viz obr. 1), [16].



Obr. 1. Rychlostní profil pro smáčivý (vlevo) a špatně smáčivý povrch (vpravo), [dle 16]

4.2 Viskozita

Mazací schopnost PK je závislá na její viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy [7]. Viskozita je fyzikální veličina, která udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami proudící kapaliny. Jedná se o veličinu, která charakterizuje vnitřní tření kapaliny a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší přitažlivou silou mezi částicemi mají větší viskozitu, větší viskozita zpomaluje pohyb kapaliny nebo těles v kapalině [17]. S rostoucí viskozitou se zhoršuje pronikání kapaliny do třecích ploch, její proudění a také odvod tepla. Viskóznější kapaliny ulpívají také více na třískách a obrobku, tím dochází

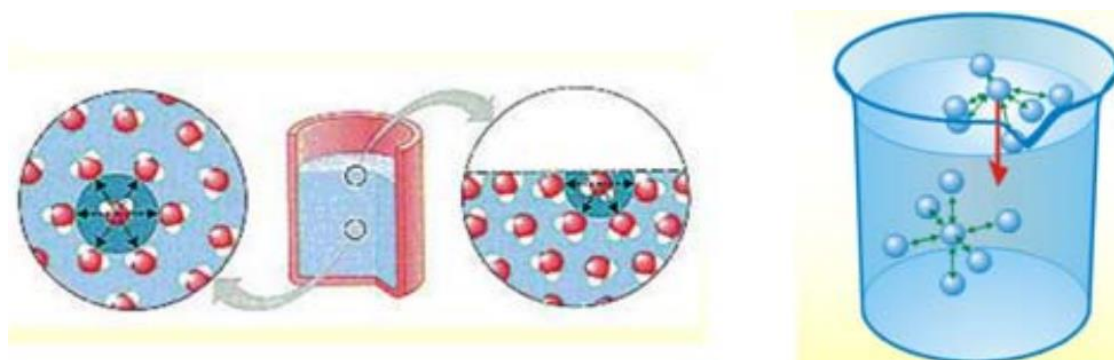
ke značným ztrátám. Přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají také pronikání do trhlin deformovaného kovu, se pevnost mazací vrstvy zvyšuje [7].

4.3 Charakteristika fázového rozhraní

Velmi často se setkáváme s řadou fyzikálních či chemických procesů, které probíhají na rozhraní mezi sousedícími objemovými fázemi. Fáze je definována jako určitá část objemu zkoumaného systému, ve které jsou vlastnosti konstantní nebo se spojitě mění v prostoru. Jednotlivé fáze jsou odděleny fázovým rozhraním (FR), [18].

FR tuhá látka/kapalina/plyn je charakterizováno svou plochou a u zakřivených rozhraní též křivostí povrchu. Pokud je plocha FR relativně malá, lze její vliv na celkové chování systému zpravidla zanedbat. Při větším FR je však nutno její vlastnosti do celkového popisu systému zahrnout [19].

Na FR jsou interakce mezi molekulami odlišné od interakcí v objemových fázích. Síly působící na individuální molekulu uvnitř kapaliny se navzájem kompenzují. Molekula u povrchu kapaliny je však vystavena pouze silovému působení molekul, které s ní sousedí ze strany kapalné fáze. Výslednicí těchto sil je tah do nitra kapaliny. Podobně je tomu i u ostatních typů FR. Na molekulu ve FR mezi kondenzovanými fázemi (kapaliny nebo tuhé látky) působí však síly z obou stran, jejich velikost závisí na chemické povaze a stavu obou fází (viz obr. 2), [18].



Obr. 2. Interakce molekul v objemové fázi a ve fázovém rozhraní [19]

4.3.1 Mezimolekulární síly

Odpuzivé mezimolekulární síly mají původ hlavně ve vzájemném elektrostatickém odpuzování elektronových obalů vnějších elektronů interagujících molekul, atomů, iontů atd. Přitažlivé síly mají původ v tom, že polohy elektronů v jedné molekule jsou vždy v určitém vztahu k polohám elektronů ve druhé molekule. Výsledkem je vždy vzájemná elektrická přitažlivost obou molekul. Přitažlivé síly se nazývají kohezní síly [20].

Zahrnujeme sem síly van der Waalsovy, polární, vodíkových můstků apod. Dosah těchto sil je poměrně malý. Velikosti odpuzivých sil klesají se vzdáleností molekul rychleji než přitažlivých, a tak v jisté vzdálenosti molekul budou přitažlivé a odpuzivé síly v rovnováze. V této vzdálenosti se molekuly nacházejí za běžných podmínek [15].

4.3.2 Povrchová a mezifázová energie

Jakékoliv zvětšení plochy FR je spojeno s převodem molekul z objemové fáze do FR, což je spojeno s prací proti zmíněnému tahu. Elementární práce dW_r je úměrná počtu molekul převedených z objemové fáze do FR a tedy ploše nově vzniklého fázového rozhraní dA_{FR} [18]:

$$dW_r = \gamma \cdot dA_{FR} \quad (1)$$

Konstanta úměrnosti γ má význam izotermické vratné práce potřebné k jednotkovému zvětšení plochy FR. Je označována termínem mezifázová energie, v případě rozhraní kapalina/plyn a tuhá látka/plyn (tj. povrchů) povrchová energie. Má rozměr v SI-soustavě $J \cdot m^{-2}$ [18].

Molekuly kapalin v kontaktu se sousedními molekulami mají nižší energetický potenciál oproti molekulám osamoceným. V hraniční vrstvě mají molekuly menší počet sousedních částic, než by měly uvnitř kapaliny, mají tedy vyšší energetický potenciál. Každá soustava se snaží přejít do stavu s minimální potenciální energií, proto se kapalina snaží minimalizovat počet hraničních molekul zmenšením svého povrchu. Důsledkem je, že kapky kapaliny zaujímají tvar připomínající, podle svých vlastností, více či méně kouli. Je to proto, že koule má při daném objemu nejmenší povrch [15].

Pevná látka obvykle nemůže zaujmout tvar o nejmenším povrchu, protože za běžných teplot jsou atomy pevných látek relativně nepohyblivé. Existence povrchové energie se projevuje při rozměňování tuhých látek, kdy dochází ke zvětšování povrchu. Jak známo, je na tento pochod nutno vynaložit mechanickou práci. U pevných látek však proces vzniku nového povrchu probíhá ve dvou krocích: vznik nového povrchu rozdělením materiálu (např. třískové obrábění), přičemž atomy nového povrchu zachovávají stejné polohy, jaké měly v objemové fázi, a poté přeskupení atomů v povrchové oblasti do jejich konečných rovnovážných poloh. U pevných látek na rozdíl od kapalin probíhá druhý děj v důsledku malé pohyblivosti v povrchové oblasti jen pomalu, takže rovnovážná hodnota povrchové energie se může ustavovat velmi dlouho [18].

V současné době neexistují žádné universální přímé, spolehlivé metody pro určení

povrchové energie či povrchového napětí pevných látek. Avšak bylo objeveno množství nepřímých empirických metod založených na měření kontaktního úhlu [19].

Celková mezifázová (povrchová) energie

Při změně velikosti plochy FR se vyměňuje nejen práce, ale také teplo. Celková energie, která se při vratné jednotkové změně plochy FR vymění s okolím, označovaná jako celková mezifázová (povrchová) energie, je při dějích probíhajících za konstantní teploty a objemu rovna změně vnitřní energie, při dějích probíhajících za konstantní teploty a tlaku je rovna změně entalpie. Celková povrchová energie je v prvním přiblížení konstantní, nezávislá na teplotě, proto se často používá k charakterizaci mezimolekulárních sil v různých kapalinách [18].

4.3.3 Povrchové a mezifázové napětí

Při popisu jevů na mobilních FR (kapalina/plyn, kapalina/kapalina) se častěji než mezifázové energie používá pojmu mezifázové (povrchové) napětí σ , které je definováno jako tečná síla F , působící ve směru povrchu na úsečku jednotkové délky dl_{FR} [15]:

$$\sigma = dF / dl_{FR} \quad (2)$$

U kapalin se obě veličiny, mezifázová (povrchová) energie i mezifázové (povrchové) napětí, shodují jak rozměrově, tak číselně. Vyjadřují se v $\text{N.m}^{-1} = \text{J.m}^{-2}$, častěji se ale používá menší jednotky mN.m^{-1} , popř. mJ.m^{-2} [19].

Povrchová napětí kapalin σ i mezifázová napětí kapalina-kapalina jsou velmi dobře měřitelná, mezifázové napětí tuhá látka-kapalina lze stanovit pouze nepřímo. U pevných látek není koncepce povrchového napětí jako tečné síly, stejné ve všech směrech a ve všech místech povrchu, která vyhovovala u kapalin, adekvátní, neboť povrch pevných látek není homogenní a síla působící v rovině povrchu je různá v různých místech a je také různá v různých směrech. Možnosti přímého stanovení povrchové energie pevných látek jsou dosti omezené a většina z nich je použitelná pouze pro určitou skupinu pevných látek nebo pro speciální podmínky [18]. Povrchové napětí směsí závisí silně na složení a dosud neexistuje žádná exaktní metoda pro jeho výpočet [21].

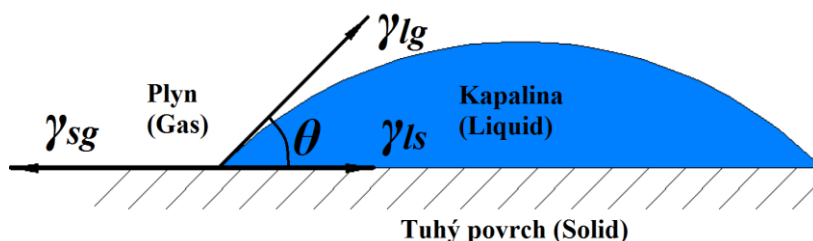
Teplotní závislost povrchového a mezifázového napětí

Povrchové napětí kapaliny, která je v rovnováze se svou parou, zpravidla klesá s teplotou a v kritickém bodě je nulové [21]. Teplotní závislost mezifázového napětí je dána teplotní závislostí vzájemné rozpustnosti obou složek. Jak známo, vzájemná rozpustnost může s teplotou růst i klesat. Mezifázové napětí může tedy s teplotou jak klesat

tak i stoupat. V blízkosti kritické teploty rozpouštěcí se mezifázové napětí vždy blíží nule.

4.3.4 Úhel smáčení a Youngova rovnice smáčení rovinného povrchu

Mírou smáčení kapaliny na pevném povrchu je tzv. úhel smáčení θ (kontaktní úhel), který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním. Hlavní charakteristika tvaru kapky kapaliny, umístěné na povrchu nerozpustné tuhé látky, je závislá na vlastnostech vzniklého mezifázového rozhraní (viz obr. 3), [14].

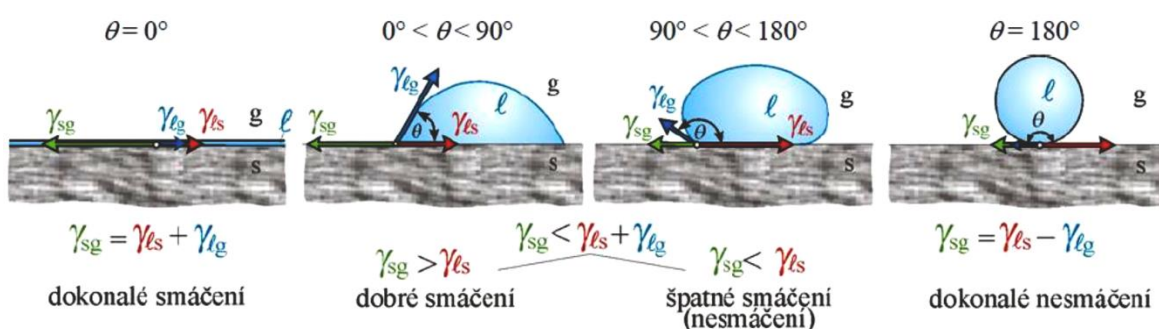


Obr. 3. Úhel smáčení a silová rovnováha na rozhraní tří fází [dle 14]

Umístíme-li kapku kapaliny l (liquid) na hladký vodorovný povrch s (solid) v plynném prostředí g (gas), může se buď rozprostřít po povrchu, nebo zaujme více či méně kulový tvar. Podmínka rovnováhy sil na rozhraní tří zmíněných fází je definovaná Youngovou rovnicí [15]:

$$\gamma_{sg} - \gamma_{ls} = \gamma_{lg} \cdot \cos\theta \quad (3)$$

kde θ – úhel smáčení, γ_{sg} je povrchová energie pevné látky, γ_{ls} je mezifázová energie pevná látka-kapalina, γ_{lg} je povrchová energie kapaliny.



Obr. 4. Kapka kapaliny na povrchu pevné látky [22]

Pokud platí $\gamma_{sg} > \gamma_{ls} + \gamma_{lg}$, nemůže být splněn rovnovážný vztah, vychází totiž hodnota $\cos\theta \geq 1$. V takovém případě se nemůže ustavit rovnováha sil a dochází k rozestírání kapaliny po celém tuhém povrchu do souvislé vrstvy [22]. Fázové rozhraní pevná látka/plyn je tak nahrazeno dvěma rozhraními: pevná látka/kapalina a kapalina/plyn.

Každé z nich o stejné ploše jako původní FR, a výsledná energie systému je nižší [19]. Mezní případ, kdy $\theta = 0^\circ$, bývá označován jako dokonalé smáčení, a případ, kdy $\theta = 180^\circ$, označován jako dokonalé nesmáčení (viz obr. 4), [22].

Platí-li $\gamma_{sg} < \gamma_{ls} + \gamma_{lg}$ kapalina smáčí nebo nesmáčí povrch tuhé látky. Kapka zaujme tvar, který určuje úhel smáčení θ [22]. Podle velikost úhlu θ rozlišujeme, zda kapalina povrch smáčí či ne. Jestliže $\theta < 90^\circ$ kapalina tuhoun látku dobře smáčí (tuhý povrch je lyofilní) a smáčení je samovolné. Jestliže $\theta > 90^\circ$ kapalina tuhoun látku špatně nesmáčí (tuhý povrch je lyofobní), nedochází k samovolnému smáčení pevné látky [14], [19].

4.3.5 Faktory ovlivňující úhel smáčení

Drsný povrch je obvykle lépe smáčen dobře smáčečícími kapalinami než povrch hladký, zatímco u špatně smáčečících kapalin je tomu naopak. Drsnost povrchu se může vyskytovat i u pečlivě připravených reálných povrchů, kompenzuje se zavedením koeficientu $\beta > 1$, neboť reálný povrch je větší než rovinný ideální povrch, do něhož se promítá γ_{lg} , pak tvar Youngovy rovnice je [14]:

$$\gamma_{sg} - \gamma_{ls} = \beta \cdot \gamma_{lg} \cdot \cos\theta \quad (4)$$

Hodnotu koeficientu β je možno zjistit porovnáním hodnot $\cos\theta$ naměřených na drsném a hladkém povrchu. Chemická nehomogenita povrchu s drsností povrchu významně ovlivňují měřené hodnoty kontaktního úhlu na rozhraní tří fází [14].

Adsorpce látek přítomných v plynné fázi (viz kap. 5.3.8) na povrchu tuhé fáze vede ke snížení povrchové energie tuhé látky z hodnoty γ_s (povrchová energie čisté tuhé látky) na hodnotu γ_{sg} . Rozdíl $p = \gamma_s - \gamma_{sg}$ je povrchový tlak. Hodnota úhlu smáčení θ se bude měnit v závislosti na hodnotách povrchového tlaku p . Tento vliv se významně uplatňuje u tuhých látek o vysoké povrchové energii (např. kovy, kovové oxidy), která se absorpcí snižuje [14].

Hystereze (rozdílnost) úhlu smáčení kapaliny při jejím postupu a ústupu na tuhém povrchu. Při styku kapaliny s povrchem tuhé látky existuje několik metastabilních kontaktních úhlů, lišících se velikostí od úhlu rovnovážného. Obvykle kontaktní úhel kapaliny, která postupuje po tuhém povrchu (postupující úhel θ_A), větší než úhel θ_R na rozhraní ustupujícím. Rozptyl hodnot $\theta_A - \theta_R$ činí až 50° . Příčinou mohou být nečistoty, přítomnost naadsorbovaných plynů i nerovnosti tuhého povrchu [14].

4.3.6 Adheze a adhezní práce

Adheze je schopnost materiálu (především dvou rozdílných) spolu přilnout. Odborněji fyzikálně je to schopnost přenosu tečných sil ve styku dvou povrchů bez zřetelného pohybu. Adheze je také definovatelná odborně chemicky jako síla přilnavosti nebo mezimolekulární přitažlivé chemické a fyzikální síly na styčných plochách v nerovnostech a pórech materiálů [23]. Příkladem může být adheze kapaliny, která smáčí danou pevnou látku. Síla smáčivosti, kterou na sebe působí částice povrchových vrstev dvou stýkajících se různých látek, se nazývá adhezní síla [20].

Adhezní práce W_A je práce, potřebná k izotermnímu roztržení dvou fází l a s podél FR plochy v prostředí g , při čemž zanikne mezifáze ls o energii γ_{ls} a vytvoří se dva nové jednotkové povrchy o jednotkovém průřezu fází l a s o povrchových energiích γ_{lg} a γ_{sg} . Je vyjádřena Dupréovou rovnicí [14]:

$$W_A = \gamma_{lg} + \gamma_{sg} - \gamma_{ls} \quad (5)$$

V případě adheze mezi kapalinou l a tuhou látkou s mezifázové energie γ_{ls} a γ_{sg} obvykle nejsou známy. Jejich rozdíl je možno vyjádřit z Youngovy rovnice pomocí měřitelných veličin: povrchové energie γ_{lg} a úhlu smáčení θ . Byl odvozen vztah [24]:

$$W_A = \gamma_{lg} \cdot (1 + \cos\theta) \quad (6)$$

4.3.7 Koheze a kohezní práce, Harkinsův rozestírací koeficient

Koheze, též soudržnost, je jev vznikající působením přitažlivých sil mezi částicemi dané látky. Koheze se projevuje u pevných a kapalných látek. U plynů, které nejsou blízko stavu zkapalnění, se projevuje koheze v daleko menší míře. Vazebná síla, kterou na sebe působí částice téže látky, se nazývá kohezní síla [20].

Práce, potřebná na roztržení souvislého sloupce kapaliny o jednotkovém průřezu na dvě části tak, aby se v prostoru mezi nimi vytvořila mezera plynu (fáze g), se nazývá kohezní práce W_K , je vázána k povrchové energii γ_{lg} vztahem [25]:

$$W_K = 2\gamma_{lg} \quad (7)$$

Dělením rovnice (6) na rovnici (7) získáme vztah [26]:

$$W_A/W_K = (1 + \cos\theta)/2 \quad (8)$$

Z rovnice (8) vyplývá, že smáčivost je určena poměrem adhezní a kohezní práce,

neboť je charakterizovaná kosinem krajního úhlu smáčení. Principiální rozdíl mezi jevy adheze a smáčivosti je v tom, že smáčivost existuje jen při přítomnosti třech fází fázového rozhraní. Můžeme konstatovat, že při $\theta = 0^\circ$, adhezní práce se rovná kohezní práci, při $\theta = 90^\circ$, kohezní práce je o dvakrát větší než adhezní. Proto pro zlepšení smáčivosti je potřeba zvětšit adhezní nebo snížit kohezní práci (povrchové napětí) kapaliny, a to přidáváním povrchově aktivních látek nebo změnou teploty [26].

Rozestírací (Harkinsův) koeficient S_R je definován výrazem [25]:

$$S_R = W_A - W_K = \gamma_{sg} - \gamma_{ls} - \gamma_{lg} \quad (9)$$

K samovolnému šíření kapaliny po povrchu pevné látky dochází, jestliže je hodnota S_R kladná, nebo nulová. Pokud je hodnota koeficientu záporná, zůstává kapalina jako kapka svírající určitý kontaktní úhel θ s povrchem pevné látky [19].

4.3.8 Adsorpce

Z hlediska mezimolekulárního působení je každé FR nevyvážené, neboť mezimolekulární síly působí na částice povrchových vrstev nesymetricky. Je-li alespoň jedna ze sousedících fází mobilní (plynná nebo kapalná), dochází na mezifázi v důsledku tzv. adsorpce ke koncentrační změně vzhledem ke koncentraci v objemové fázi, která vede ke snížení energie FR. Tímto termínem, se obvykle míní pozitivní adsorpce, při níž je FR obohacováno o jednu nebo více složek, které tvoří uvažovaný systém. Při negativní adsorpci je naopak koncentrace některé ze složek systému v FR nižší než v objemových fázích. K adsorpci může docházet na kterémkoliv typu rozhraní, je třeba vzhledem k rozdílnému charakteru povrchů pevných a kapalných látek diskutovat jednotlivé případy odděleně [18].

4.3.9 Podmínky rovnováhy v systémech s významnou plochou FR

V každém systému probíhají samovolně takové děje, které vedou k ustavení rovnováhy. V rovnováze je celková energie systému minimální ve shodě s vnějšími podmínkami. U systému s významnou plochou FR musí být minimální i součet energií všech FR v systému. Toho může být dosaženo: zmenšením plochy FR, záměnou FR za jiná (energeticky výhodnější), vznikem povrchovým filmů nerozpustných látek, adsorpcí. Systém sestávající ze tří fází se uspořádá tak, aby součet energií všech FR a potenciálních energií všech fází byl minimální [18].

5 Experimentální metody měření

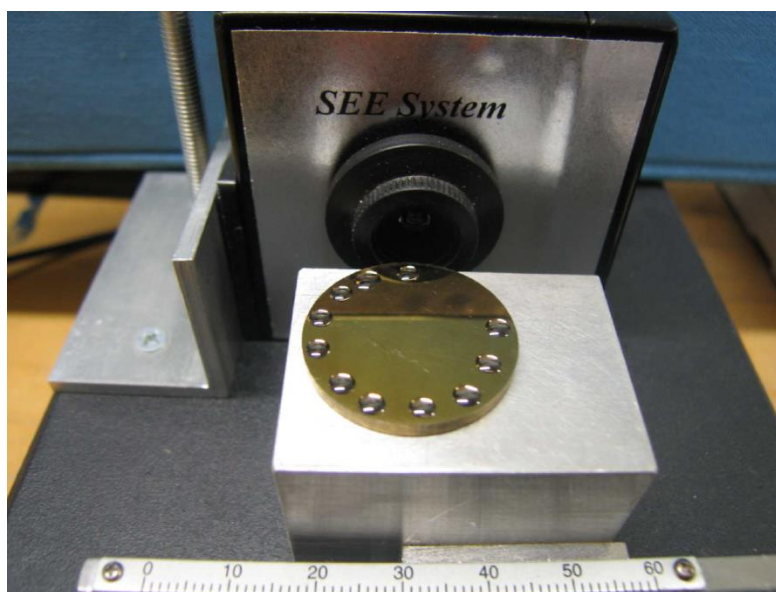
V současné době neexistují žádné přímé experimentální metody pro hodnocení ulpívání procesních kapalin na drsném povrchu. Ulpívání kapaliny na tuhém povrchu závisí především na charakteristice FR, viskozitě a smáčivosti, proto se pro popis vlastností kapaliny po obtékání tělesa spíše používá porovnávací metody hodnocení smáčivosti kapalin (měření kontaktních úhlu, měření povrchového napětí), nebo viskozity.

5.1 SEE Systém

SEE systém představuje pokročilou metodu měření kontaktního úhlu a výpočtu volné povrchové energie. Eliminuje subjektivní vliv pozorovatele na stanovení kontaktního úhlu.



Obr. 5. Schéma uspořádání při měření úhlu [19]



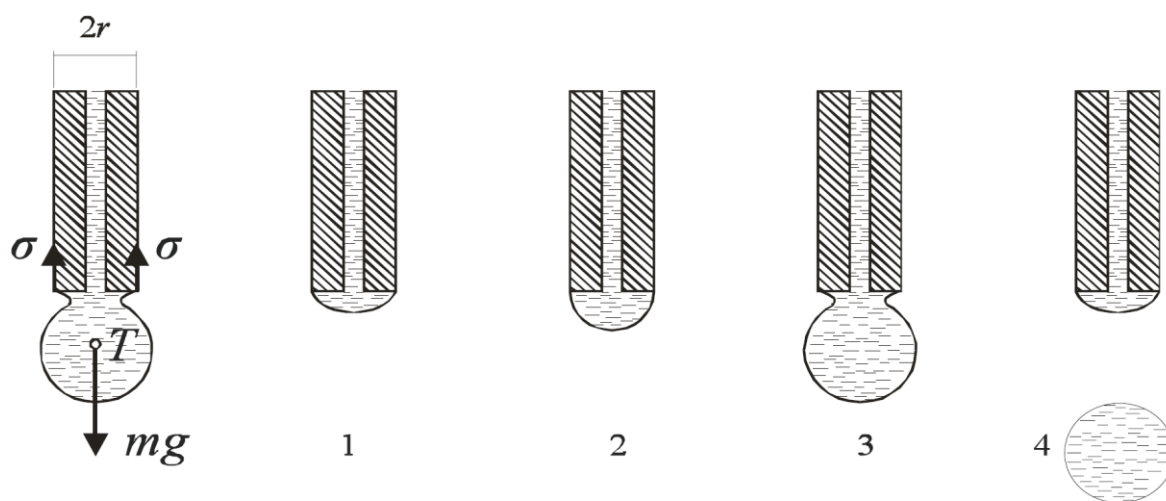
Obr. 6. Detail přístroje SEE Systém a zkušební vzorek
TiO₂ s kapkami bromnaftalenu [15]

Tvar kapky je zaznamenán CCD kamerou a snímky se zobrazí ve speciálním podpůrném programu (See Software), který umožňuje převést profil kapky na kružnici dvěma způsoby: pomocí tří bodů, nebo pomocí více bodů a aproximací metodou nejmenších čtverců, kdy obrys kapky tvoří část této kružnice. Software už potom automaticky stanoví a zobrazí kontaktní úhel (viz obr. 5).

Program umožňuje výpočet povrchové energie na základě nejčastěji používaných modelů (Neumann, Wu, OWRK, Lifshitz – van der Waals/acid - base) včetně stanovení chyby měření. Obsahuje databázi povrchových energií a jednotlivých komponent povrchové energie kapalin, kterou lze doplnit novými údaji (viz obr. 6), [15].

5.2 Měření povrchového napětí kapkovou metodou

Necháme zvolna odkapávat kapalinu z tlustostěnné kapiláry. Na obrázku 6 je rozfázováno do 4 fází odkapávání kapalin z kapiláry. Kapka odkápne tehdy, když tíhová síla kapky F_G překročí sílu povrchového napětí F_σ , která působí na vnějším obvodu kapiláry poloměru r (viz obr. 7).



Obr. 7. Odkapávání kapaliny z tlustostěnné kapiláry [20]

Vyjádříme síly, které působí na kapku těsně před jejím odkápnutím z kapiláry. Budeme předpokládat, že kapalina dokonale smáčí stěny kapiláry. Potom obě síly působí ve svislém směru a jsou opačné. Můžeme proto počítat pouze s jejich absolutními hodnotami. Velikost tíhové síly kapky těsně před odkápnutím je $F_G = m_k g$, kde m_k je hmotnost jedné kapky. Velikost síly povrchového napětí těsně před odkápnutím je $F_\sigma = 2\pi r \sigma$, kde r je vnější obvod kapiláry a σ – povrchové napětí kapaliny, která odkapává z kapiláry. V okamžiku odkápnutí platí $F_G = -F_\sigma$, tedy $m_k g = 2\pi r \sigma$. Z toho povrchové

napětí odkapávající kapaliny je [20]:

$$\sigma = m_k \cdot g_g / 2\pi \cdot r \quad (10)$$

Vztah platí pouze přibližně. Při odkapávání se kapka v části při kapilární trubici zúží a v tom místě odtrhne. Část kapaliny zůstane v trubici. Tíhová síla kapky je ve skutečnosti menší. Proto se měření provádí porovnávací metodou. V případě, že známe povrchové napětí jedné kapaliny σ_1 , můžeme určit povrchové napětí další kapaliny σ_2 . Necháme odkapávat obě kapaliny z téže kapiláry. Potom z výše odvozeného vztahu pro povrchová napětí platí, že povrchová napětí jsou přímo úměrná hmotnostem kapek. Platí tedy [20]:

$$\sigma_1/\sigma_2 = m_{k1}/m_{k2} \quad (11)$$

Pro většinu kapalin platí, že v kapiláře zůstává přibližně stejná poměrná část kapky v kapiláře při odkápnutí, proto můžeme podle uvedeného vztahu měřit povrchové napětí. Pro zvětšení přesnosti měření necháme odkapat větší počet kapek obou kapalin. Navíc není nutno, abychom používali kapilární trubici, stačí, když použijeme stejné kapátko [20].

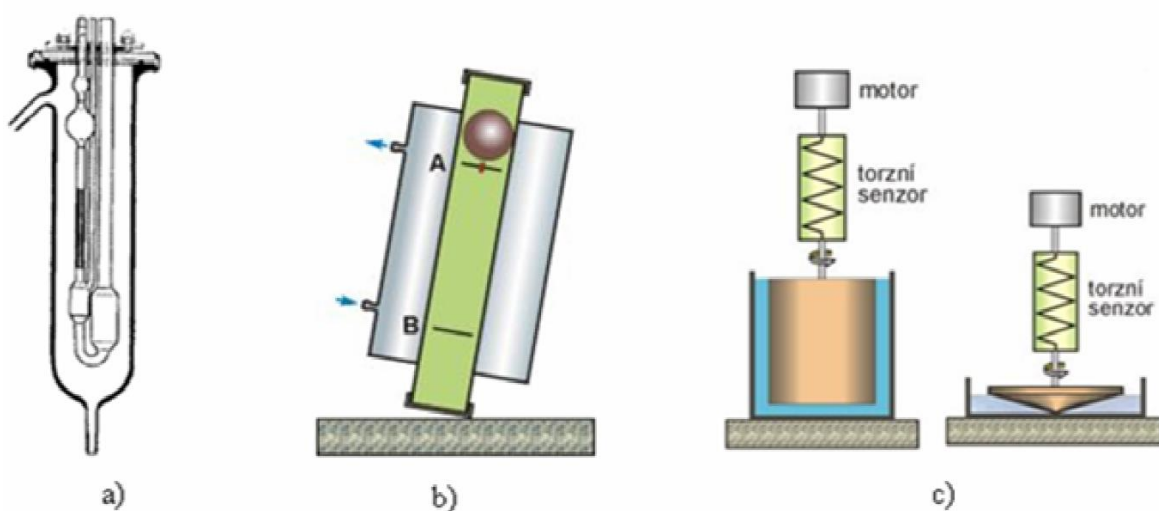
5.3 Stanovení úhlu smáčení na drsných rovinných površích

Hodnoty úhlu smáčení naměřené na drsných površích není možno použít pro vyhodnocení povrchových energií tuhých látek, kvůli různorodosti povrchu tuhé látky. Na drsných površích je měření kontaktních úhlů obtížné nejen proto, že jejich hodnoty jsou malé, ale proto, že povrchy jsou morfologicky i energeticky nestejnorodé, což vede k vytvoření linie smáčení nepravidelného tvaru. Kontaktní úhly odečtené na takových kapkách nejsou spolehlivé. Tyto problémy řeší metoda analýzy profilu axisymetrické kapky na základě měření jejího průměru (Axisymmetric Drop Shape Analysis - Diameter) – modifikace metody analýzy profilu kapky. Kapka, umístěná na drsný povrch, je pozorována shora mikroskopem, snímána videokamerou, obraz digitalizován a vyhodnocen střední průměr kapky, který spolu se známým objemem kapky, povrchovým napětím kapaliny a rozdílem hustot kapaliny a okolní plynné nebo druhé kapalné fáze umožňuje vypočítat úhel smáčení. Mezi průměrem kapky D , jejím objemem V a úhlem smáčení θ byl odvozen vztah [19]:

$$\frac{D^3}{V} = \frac{24\sin^3 \theta}{\pi(2 - 3\cos \theta + \cos^3 \theta)} \quad (12)$$

5.4 Stanovení viskozity

Pro stanovení viskozity se používá viskozimetrů pracujících na různém principu (viz obr. 8). Nejjednodušší jsou založeny na měření času potřebného k průtoku určitého množství látky kapilárou (např. Ubbelohdeho viskozimetr). Na sledování doby pádu kuličky v měřené kapalině je založen Hopplerův viskozimetr. Dnes se používají zejména rotační viskozimetry, které jsou založeny na měření torzní síly, kterou působí rotující kapaliny na element zavěšený na torzním vlákně. Rotační viskozimetr sestává buď ze dvou soustředných válců, mezi nimiž je úzká mezera, vyplněná měřenou kapalinou nebo z kužele a desky [27].



Obr. 8. Typy viskozimetrů (a – Ubbelohdeho s temperací, b – Hoppler, c – rotační s válcem a deskou), [26]

6 Základ metodiky experimentu

Na Technické Univerzitě v Liberci vymysleli metodou hodnocení ulpívání procesních kapalin. Poprvé byla realizovaná v rámci diplomové práce pana Ing. Stryala na vzorcích z oceli po operaci frézování a broušení. Metoda spočívá ve vizuální kontrole ulpělé procesní kapaliny na zkušebních vzorcích po frézování a broušení. Hodnotí se jak velice je daná procesní kapalina náchylná na zachycení a setrvání na povrchu obrobku po uplynutí stanoveného časového intervalu od ukončení procesu obrábění. Na obrobku se definuje měřená oblast (pomocí souřadnicové sítě). Následně se vyhodnotí, na kolika procentech z vyhodnocované oblasti ulpí procesní kapalina.

6.1 Charakteristika strojů, přístrojů a procesních kapalin

Ulpívání procesních kapalin na zkušebních vzorcích bylo zkoumáno u prototypu procesních kapalin od společnosti Paramo, a.s.: PK ESOK 1.0D, PK ESOK 1.1F, PK ESOK 1.1B, PK ESOK 1.0E a u vody.

Jako zkušební materiál byla použita ocel ČSN 41 4220.3 (dále jen ČSN 14 220.3) a slitina hliníku ČSN 42 4254. Bylo připraveno po dvou zkušebních vzorcích od každého materiálu: broušený a frézovaný.

Frézovací a brousící operace byly provedeny v laboratoři Třískových technologií katedry obrábění a montáže TU v Liberci. Slitina hliníku je těžkoobrobitelná v rámci operace broušení, lepší se na brusný kotouč, proto byla realizována dokončovací leštící operace pro dosažení požadovaných hodnot drsnosti povrchu. Leštící operace vzorku ze slitiny hliníku byla provedena v laboratoři Katedry materiálu TUL.

Frézovací operace byla realizovaná na frézce FNG 32. Brousící operace byla realizovaná na brusce BPH 320A. Leštící operace byla provedena na leštícím stroji Tegramin-25.

Focení množství ulpělé procesní kapaliny bylo provedeno fotoaparátem Canon EOS 600D.

6.1.1 Frézka FNG 32

Frézovací operace byly provedeny na frézce FNG 32 od společnosti TOS Olomouc s.r.o. frézou NAREX 2460.12 o průměru 63 mm s vyměnitelnou břitovou destičkou TPUN 160304, S26 (viz obr. 9). Obrábění bylo realizováno čelním frézováním.



Obr. 9. Frézka FNG 32 [7]

Přehled základních technických parametrů frézky FNG 32 je uveden v tabulce 2.

Frézka FNG 32		
Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Rozměr pracovní plochy	800 x 400	[mm]
Maximální zatížení stolu	350	[kg]
Pracovní zdvih podélný	600	[mm]
Pracovní zdvih příčný, svislý	400	[mm]
Posuv X,Y	15 - 1000	[mm.min ⁻¹]
Posuv Z	6 - 400	[mm.min ⁻¹]
Rychloposuv X,Y	2000	[mm.min ⁻¹]
Rychloposuv Z	800	[mm.min ⁻¹]
Rozsah otáček vřetena	50 - 4000	[ot.min ⁻¹]
Počet rychlostních stupňů vřetena	2	[°]
Natočení vertikálního vřetena	± 90	[°]
Výkon hlavního motoru vertikálního vřetena	4	[kW]
Výkon posuvného motoru vertikálního vřetena	1,1	[kW]
Celkový příkon stroje	22	[kW]
Hmotnost stroje	2500	[kg]
Zastavěná plocha	2070 x 2120	[mm]
Výška stroje	2115	[mm]

Tab. 2. Technické parametry frézky FNG 32

Řezné podmínky při obrábění na frézce FNG 32 jsou zaneseny do tabulky 3.

Frézka FNG 32		
Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Otáčky	440	[ot.min ⁻¹]
Posuv	0.1	[mm.ot ⁻¹]
Hloubka řezu	0,5	[mm]

Tab. 3. Řezné podmínky při frézování na frézce FNG 32

6.1.2 Bruska BPH 320A

Brousící operace byly realizovány na brusce BPH 320A od společnosti TOS Olomouc, s.r.o., brusným plochým kotoučem 98A 46 K 9 V 01 (umělý korund, růžový) o průměru 250 mm a o šířce 26 mm (viz obr. 10).



Obr. 10. Bruska BPH 320A

Řezné podmínky při obrábění na brusce BPH 320A jsou zaneseny do tabulky 4.

Bruska BPH 320A		
Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Otáčky	2500	[ot.min ⁻¹]
Posuv	15,5	[m.min ⁻¹]
Hloubka řezu	0,01	[mm]

Tab. 4. Řezné podmínky při broušení na brusce BPH 320A

Přehled základních technických parametrů brusky BPH 320A je uveden v tabulce 5.

Bruska BPH 320A		
Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Max. délka broušení	1000	[mm]
Max. šířka broušení	320	[mm]
Posuv X	1060	[mm]
Posuv Y	350	[mm]
Posuv Z	420	[mm]
Maximální zatížení stolu	2,8	[kN]
Celkový příkon stroje	6,8	[kW]
Hmotnost stroje	3200	[kg]
Délka	4100	[mm]
Šířka	1750	[mm]
Výška	2125	[mm]

Tab. 5. Technické parametry brusky BPH 320A

6.1.3 Leštící stroj Tegramin-25

Leštící operace vzorků ze slitiny hliníku byla provedena na leštícím stroji Tegramin-25 od společnosti Struers a.s., ve čtyřech krocích pomocí postupné výměny čtyř leštících kotoučů (magnetických disků) o průměru 250 mm s použitím leštících diamantových suspenzí (viz obr. 11):

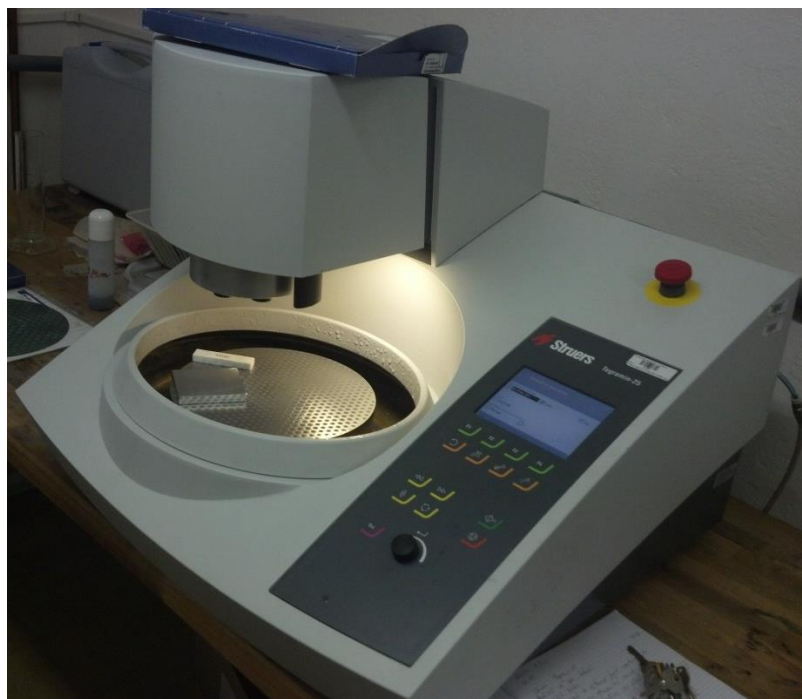
1. magnetický leštící kotouč MD-Primo s použitím vody;
2. magnetický leštící kotouč MD-Largo s použitím 9 μm suspenze;
3. magnetický leštící kotouč MD-Dac s použitím 3 μm suspenze;
4. magnetický leštící kotouč MD-Mol s použitím 1 μm suspenze.

Zkušební vzorek nebyl zafixován v upínací leštícího stroje, kvůli velkým rozměrům, proto byl přitlačen a zafixován ručně.

Tegramin-25		
Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Průměr kotoučů	250	[mm]
Rozsah otáček vřetena	40-600	[ot.min ⁻¹]
Celkový příkon stroje	555	[W]
Příkon motoru vřetena	120	[W]
Rozsah otáček motoru	50-150	[ot.min ⁻¹]
Krouticí moment na vřeteně	7,5	[N.m]
Hmotnost stroje	58	[kg]
Délka	650	[mm]
Šířka	600	[mm]
Výška	500	[mm]

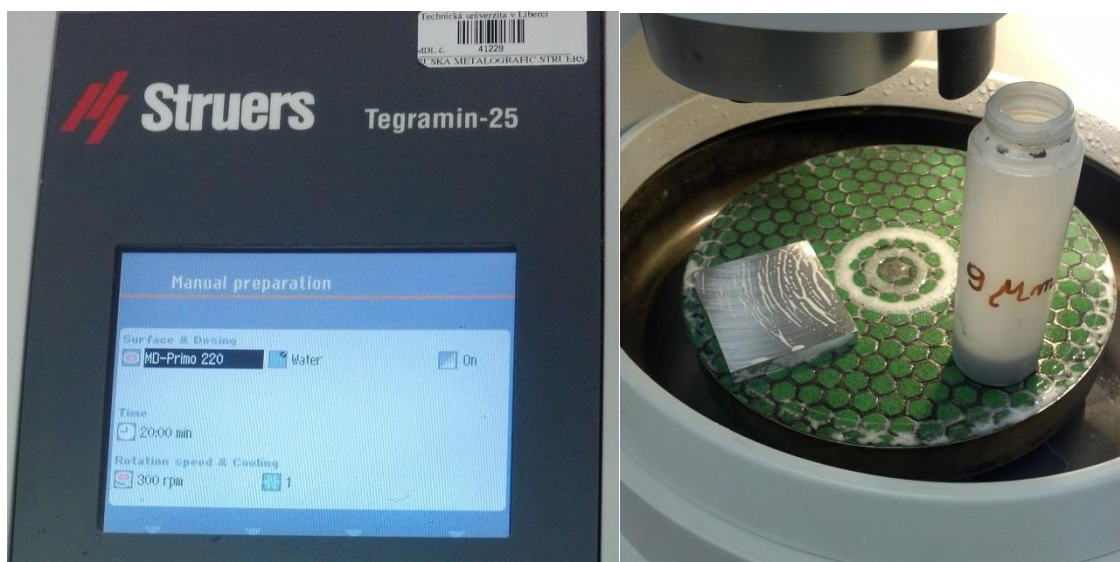
Tab. 6. Technické parametry leštícího stroje Tegramin-25

Přehled základních technických parametrů leštícího stroje Tergamin-25 je uveden v tabulce 6.



Obr. 11. Leštící stroj Tergamin-25

Operace leštění byla realizovaná při rychlosti otáčení brusného kotouče 300 ot.min^{-1} po 20 minutových časových cyklech (viz obr. 12).



Obr. 12. Operace leštění Al-slitiny na leštícím stroje Tergamin-25

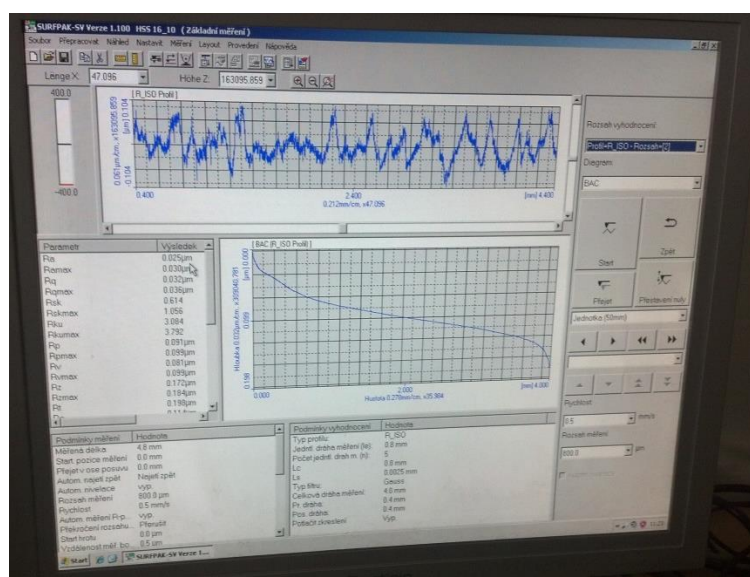
6.1.4 Laboratorní profilometr MITUTOYO SV-2000 N2

K měření jakosti obrobených ploch byl použit laboratorní profilometr SV-2000 N2 od společnosti Mitutoyo Česko s.r.o., (viz obr. 13).



Obr. 13. Laboratorní profilometr SV-2000 N2

Softwarem pro zpracování měřených údajů byl program SURFPAK 1.100. Výstupy tohoto softwaru mají textovou i grafickou formu (viz obr. 14).



Obr. 14. Příklad měřicího protokolu laboratorního profilometru SV-2000 N2

Přístroj pracuje na principu dotykové metody snímání povrchu. Skládá se z mechanické a elektronické části. Mechanická část snímá nerovnosti povrchu pomocí hrotu s diamantovou kuželovou špičkou (viz obr. 15). Vertikální pohyb hrotu je v převodníku transformován na elektrický signál, který je zpracován buď do číselné hodnoty parametrů struktury povrchu, nebo grafického záznamu profilu.



Obr. 15. Hrot profilometru SV-200 N2

6.1.5 Refraktometr Optech Brix RLC/ATC

Refraktometr Optech Brix RLC/ATC je přístroj, na kterém byla měřena koncentrace procesní kapaliny ve vodě (viz obr. 16). Toto zařízení má rozsah koncentrace v rozmezí 0 – 18 % s přesností 0,1 %. Refraktometr je přesný optický přístroj s jednoduchým ovládáním. Při měření se na podložku se stupnicí nanese několik kapek procesní kapaliny. Přístroj se nastaví proti světlu, a odečítaná hodnota se násobí odpovídajícím refrakčním indexem příslušné procesní kapaliny. Dále je porovnána s hodnotou požadované koncentrace.



Obr. 16. Refraktometr Optech Brix RLC/ATC

6.1.6 Fotoaparát Canon EOS 600D

Canon EOS 600D (viz obr. 17) je zařízení, pomocí kterého bylo foceno množství ulpělé kapaliny na zkušebních vzorcích. EOS 600D je digitální jednooký zrcadlový fotoaparát vybavený snímačem CMOS s rozlišením přibližně 18 Mpix umožňujícím

zachytit jemné detaily, procesorem DIGIC 4, vysoce přesným a rychlým 9-bodovým automatickým zaostřováním, kontinuálním snímáním rychlostí přibližně 3,7 snímku/s, snímáním s živým náhledem.



Obr. 17. Fotoaparát Canon EOS 600D

6.1.7 Líh technický P 6413

Lích technický P 6413 (viz obr. 18) od společností BARVY A LAKY HOSTIVAŘ, a.s., je ředidlo pro čištění zkušebních vzorků. Hustota cca 830 kg.m^{-3} .



Obr. 18. Lích technický 6413

Složení technického lihu P 6413 je uvedeno v tabulce 7.

Lích technický P 6413		
Název látky	Obsah	Jednotky
Ethanol	min. 86	[%]
Benzínová frakce (ropná)	1,5	[%]
Petrolej nespecifikovaný	1,5	[%]
Denatonium benzonat	2	[g/hl]

Tab. 7. Složení lihu technického P 6413

6.1.8 Charakteristika procesních kapalin

V rámci experimentů byly hodnoceny čtyři různé procesní kapaliny. Společným znakem všech posuzovaných PK bylo, že v maximální míře garantují ochranu zdraví a ekologické požadavky. Z hlediska úrovně šetrnosti vůči zdraví pracovníků a životnímu prostředí se jednalo o PK šetrné a velmi šetrné. Základní složkou všech PK byla demineralizovaná voda a všechny PK obsahovaly korozní inhibitor založený na produktech neutralizace polykarboxylových kyselin a terciálních alkanolaminů. Také biocidní a protipěnovostní systém byl u všech formulací PK stejný. Jednotlivé PK se odlišovaly systémem mazivostních přísad. Ten se především lišil dle úrovně toho, jak byla kapalina šetrná vůči zdraví pracovníku a životnímu prostředí.

PK ESOK 1.0D obsahovala polyalkylenglykol střední viskozity. PK ESOK 1.0E obsahovala polyalkylenglykol nižší viskozity. PK ESOK 1.1B obsahovala směs polyalkylenglykolů střední a nižší viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné. PK ESOK 1.1F obsahovala polyalkylenglykol extrémně vysoké viskozity a vysokotlakou přísadu založenou na esterech kyseliny fosforečné.

Pro všechny experimenty byl připraven 5 % roztok vody a emulzního koncentráту. Koncentrace PK byla kontrolována pomocí ručního refraktometru.

6.1.9 Charakteristika materiálů zkušebních vzorků

Jako zkušební materiály byly použity ocel ČSN 14 220.3 a hliníková slitina ČSN 42 4254.

Materiál ČSN 14 220.3 je manganochromová ocel 16MnCr₅ žíhaná na měkko, tvrdost podle Brinella max. 197 HB. Tato ocel má chemické složení uvedené v tabulce 8, zbytek tvoří železo.

Chemické složení	C	Si	Mn	Cr
ČSN14 220.3	0,2 %	0,2 %	1,4 %	1,1 %

Tab. 8. Chemické složení oceli ČSN 14 220.3

Materiál ČSN 42 4254 je hliníková slitina AlCu₄BiPb. Chemické složení je uvedeno v tabulce 9, zbytek tvoří hliník.

Chemické složení	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni	Ostatní
ČSN 42 4254	1 %	1 %	4 %	0,9 %	0,7 %	0,3 %	1 %

Tab. 9. Chemické složení slitiny hliníku ČSN 42 4254

7 Experimentální část řešení

7.1 Příprava zkušebních vzorků, procesních kapalin a stroje

7.1.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro experimentální část bakalářské práce byly použity materiály: ocel ČSN 14 220.3 a slitina hliníku ČSN 42 4254. Tyto materiály byly ve formě polotovaru o rozměrech 500 x 80 x 80 mm.

Z polotovaru byly nařezány dva zkušební vzorky ze slitiny hliníku o tloušťce 10 mm a dva zkušební vzorky z oceli taky o tloušťce 10 mm. Zkušební vzorky měly rozměry 70 x 80 mm. Jeden vzorek z oceli a jeden vzorek z Al-slitiny byly obráběny frézováním na drsnost R_a cca 2,5 μm a jeden vzorek z oceli byl obráběn broušením na drsnost R_a cca 0,2 μm . Poslední vzorek ze slitiny hliníku byl broušen a následně leštěn na drsnost R_a cca 0,2 μm .

7.1.2 Příprava procesních kapalin

Procesní kapaliny byly naředěny s vodou z vodovodního řádu města Liberec na hodnotu 5 % koncentrace roztoku. Při ředění bylo vycházeno z rovnice:

$$SK = K \cdot RK \quad (13)$$

Kde SK je skutečná hodnota koncentrace roztoku, K je Refrakční index a RK je koncentrace naměřená refraktometrem. Pro náš případ tedy tato rovnice vypadá takto:

$$RK = 5/K \quad (14)$$

Procesní kapalina byla postupně nalévána do vody a roztok neustále míchán, dokud nebyla naměřena na refraktometru správná hodnota koncentrace. Takto připravené procesní kapaliny byly následně použité při měření. Přehled hodnot Refrakčních indexů PK je uveden v tabulce 10.

Kapalina	Refrakční index K	Refrakční index 5 % roztoku
ESOK 1.0D	3	1,7
ESOK 1.0E	3,1	1,6
ESOK 1.1B	2,1	2,4
ESOK 1.1F	2,25	2,22

Tab. 10. Refrakční index procesních kapalin

7.1.3 Příprava stroje

Řádná příprava stroje je důležitou částí experimentu, proto jí byla věnována patřičná pozornost. Před vlastním měřením byl fotoaparát pečlivě vyčištěn, aby nedošlo k znehodnocení snímku díky závadě na zrcátku. Fotoaparát Canon EOS 600D byl ustaven na fotografický stojan. Vzdálenost od foceného zkušebního vzorku byla 700 mm (viz obr. 19). Okolo místa na kterém se nacházel zkoumaný vzorek, byly rozmístěny baterie pro lepší kvalitu nasvícení povrchu vzorku. Fotoaparát byl přímo propojen s notebookem, aby bylo ihned možné vidět výsledný snímek. Obrobky po každém snímku byly odmaštěny pomocí technického lihu P6413 aby byl připraven pro další měření. Snímání vzorků bylo provedeno pomocí dálkového ovládání z notebooku pomocí programu Canon EOS Utility, aby nedošlo ke změně polohy fotoaparátu.



Obr. 19. Měřící pracoviště

7.2 Popis metodiky experimentu

Metodika hodnocení ulpívání procesní kapaliny na obrobeném povrchu poprvé byla realizována v rámci diplomové práce pana J. Stryala na vzorcích z oceli po operace frézování a broušení.

Množství ulpělé procesní kapaliny bylo hodnoceno na frézovaném vzorku a na

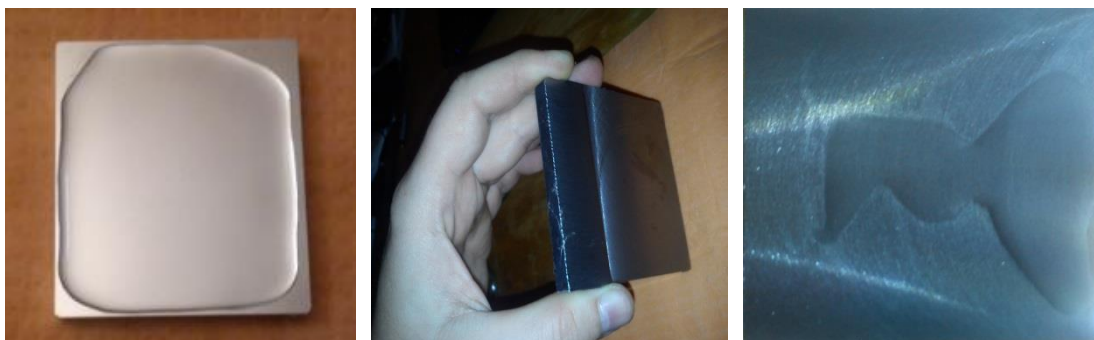
broušeném vzorku z oceli ČSN 14 220.3, a taky na dvou vzorcích ze slitiny hliníku ČSN 42 4254: frézovaném a broušeném (s následujícím leštěním). Postup hodnocení ulpívání PK na zkušebním vzorku se skládal ze dvou částí: z realizace experimentu a jeho vyhodnocení.

7.2.1 Postup realizace experimentu

Každá procesní kapalina byla hodnocena na všech čtyřech zkušebních vzorcích. Každé měření se opakovalo 5x. Při fotografování zkušebních s ulpělou PK bylo nesmírně důležité použít vhodný typ nasvícení (různá barva a intenzita světla), jinak na fotografii nebylo možno rozeznat kapalinu od zkušebního povrchu. Tento problém byl částečně vyřešen propojením fotoaparátu a počítače, pomocí kterého bylo možné vidět fotografie vzorku ihned na obrazovce notebooku a, popřípadě, změnit nasvícení vzorku.

Postup měření byl následující:

- zalití povrchu zkušebního vzorku ve vodorovné poloze PK (viz obr. 20a);
- otočení o 90° do svislé polohy (kratší strana dole), (viz obr. 20b);
- výdrž ve svislém stavu po dobu 8 s;
- zpětné natočení vzorku do vodorovné polohy (viz obr. 20c);
- ustálení kapaliny ve vodorovné poloze po dobu 3 minut;
- fotografování zkušebního vzorku s ustálenou procesní kapalinou;
- vyčištění a odmaštění (lihem) zkušebního vzorku.



a) zalitý stav

b) svislá poloha

c) ustálení kapaliny

Obr. 20. Postup měření ulpívání procesní kapaliny

7.2.2 Postup vyhodnocení experimentu

Získané fotografie bylo následně nutné vyhodnotit. Za tímto účelem byl použit program Malování a AutoCad Mechanical 2010.

Postup hodnocení byl totožný u všech zkušebních vzorků. Je popsán v následujících bodech:

- úprava fotografie na jednotné měřítko odpovídající skutečným rozměrům vzorků (kratší strana vzorku 70 mm);
- polohování fotografie tak, aby spodní okraj zkušebního vzorku tvořil pravý okraj fotografie;
- příprava čtvercové sítě o rozměrech 50 x 50 mm, která představuje vyhodnocovanou oblast (viz obr. 21a);
- stanovení referenčního bodu – bod na fotografii, který je průsečíkem dvou tečen, kdy první tečna je rovnoběžná s pravým okrajem fotografie (spodní okraj zkušebního vzorku) a prochází bodem na pravém okraji ulpělé PK a druhá tečna je rovnoběžná se spodním okrajem fotografie a prochází bodem na nejnižším spodním okraji ulpělé PK (viz obr. 21b);
- umístění pravého dolního rohu čtverečkové sítě do stanoveného referenčního bodu (viz obr. 21c);
- vložení fotografie s ulpělou kapalinou a čtvercovou sítí do souhrnného formuláře;
- stanovení množství ulpělé kapaliny ve vyhodnocované oblasti v procentech (sčítají se čtverečky s ulpělou kapalinou zaplněné zcela, ze tří čtvrtin, z poloviny a ze čtvrtiny).



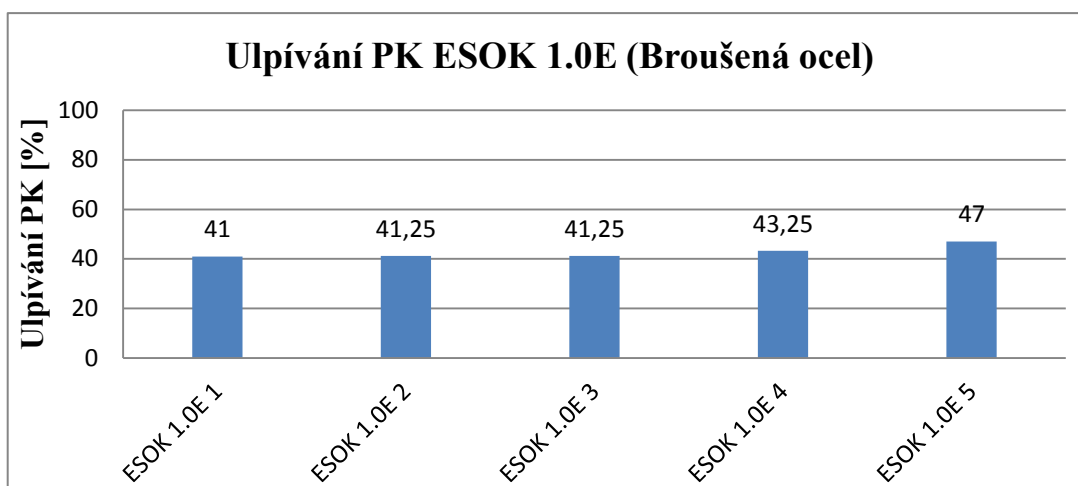
Obr. 21. Způsob vyhodnocování fotografií zkušebních vzorků s ulpělou PK [7]

8 Vyhodnocení experimentu

Cílem bakalářské práce bylo porovnat vybrané procesní kapaliny dle jejich náchylnosti k ulpívání na obrobeném povrchu. Ulpívání PK bylo hodnoceno metodou naklápění zkušebních vzorků, která byla nově navržena panem J. Stryalem, v rámci řešení projektu „Ekologické obráběcí kapaliny nové generace“ v jeho diplomové práci. Měření probíhalo na broušeném vzorku z oceli ČSN 14 220.3, a taky na dvou vzorcích ze slitiny hliníku ČSN 42 4254: frézovaném a broušeném.

Zjišťovalo se, na kolika procentech z vyhodnocené oblasti obrobku ulpěla PK. Výsledné hodnoty každého experimentu byly zaneseny do souhrnného formuláře (měřicího protokolu). Níže je uveden měřicí protokol ulpívání procesních kapalin na broušeném vzorku ze slitiny hliníku ČSN 42 4254 s dobou výdrže v natočeném stavu 8 sec, na kterém jsou nejlépe viditelné rozdíly mezi jednotlivými kapalinami a který je označen jako obrázek 22, 23, 24, 25, 26 a 27. Formuláře ostatních experimentů jsou uvedeny v příloze 1. S naměřených hodnot bylo vytvořeno 20 grafů, které umožňují porovnávání naměřených dat pro každý soubor z 5 měření na každém ze zkušebních vzorků. Níže je uvedený příklad 1 z 20 těchto grafů (viz graf 1), který znázorňuje rozptyl hodnot při měření ulpívání PK ESOK 1.0E na zkušebním vzorku z broušené oceli ČSN 14 220.3.

Experiment byl proveden 5x pro každou procesní kapalinu na každém druhu zkušebních vzorků. Z naměřených hodnot pro každou skupinu s 5 měření dále byl vypočítán statistický interval spolehlivosti, pomocí metody statistického zpracování dat, která uvedená v technické normě ČSN ISO 8688-1 [28].



Graf 1. Rozptyl 5 naměřených hodnot ulpívání PK ESOK 1.0E na vzorku z broušené oceli

Ulpívání procesní kapaliny

Datum měření 24.5.2014

Měření provedl: T. Bogdashkin

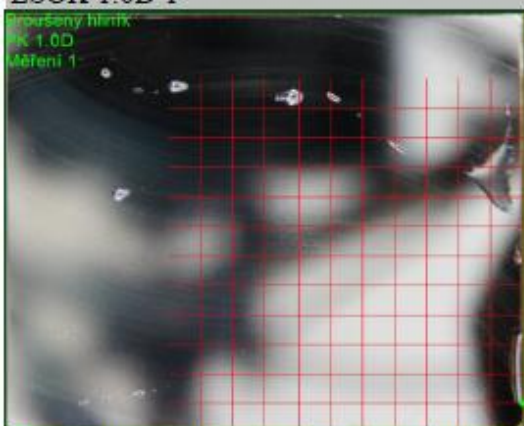
- procesní kapaliny: ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1F, ESOK 1.1B, Voda
- technologie obábění: Broušení

Zkušební vzorek

rozměry zkušebního vzorku	80 x 70 x 10
materiál vzorku	ČSN 42 4254
drsnost povrchu vzorku Ra	0,2 μm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
úhel natočení vzorku	90°
výdrž v natočené poloze	8 sec
dobu ustavení kapaliny po natočení zpět do vodorovné polohy	3 min

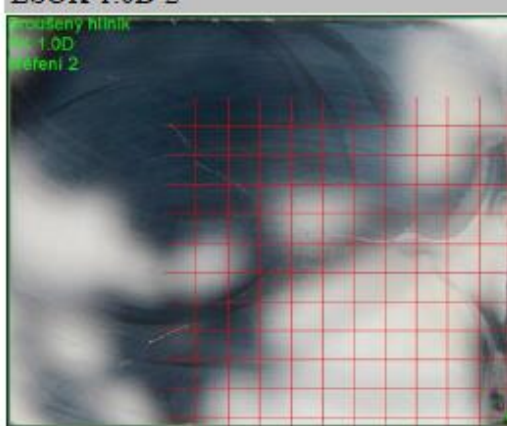
ESOK 1.0D

ESOK 1.0D 1



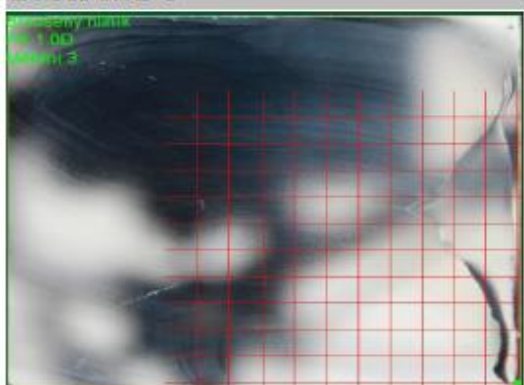
Na vzorku ulpělo: 2,75 % PK

ESOK 1.0D 2



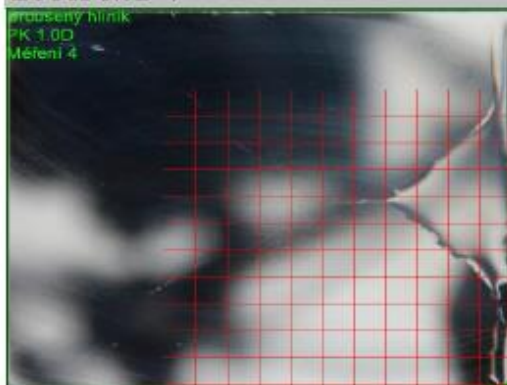
Na vzorku ulpělo: 10 % PK

ESOK 1.0D 3



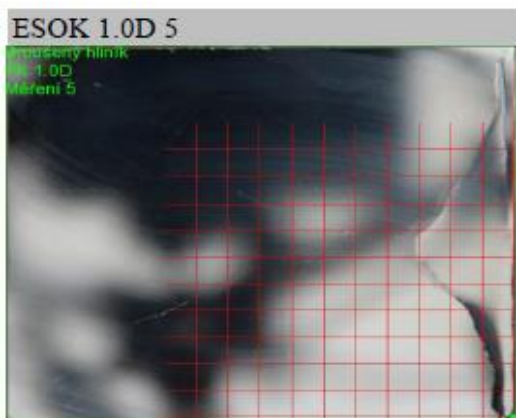
Na vzorku ulpělo: 12,25 % PK

ESOK 1.0D 4



Na vzorku ulpělo: 15,75 % PK

Obr. 22. Ulpívání procesní kapaliny na broušeném vzorku z Al-slitiny – list 1

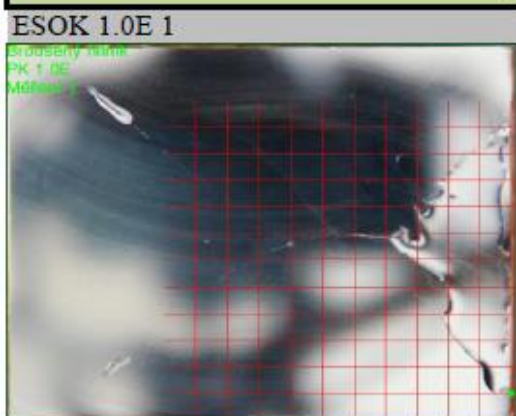


Na vzorku ulpělo: 17,25 % PK

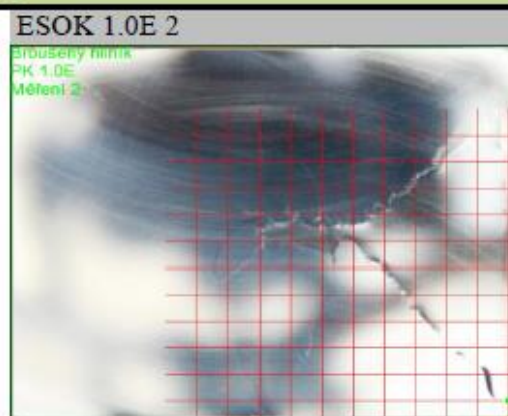
Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0D

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0D 1	2,75
ESOK 1.0D 2	10
ESOK 1.0D 3	12,25
ESOK 1.0D 4	15,75
ESOK 1.0D 5	17,25

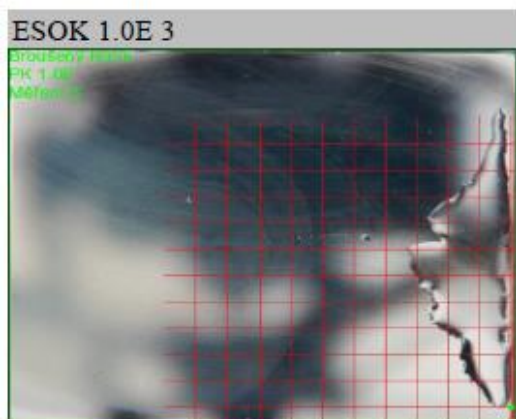
ESOK 1.0E



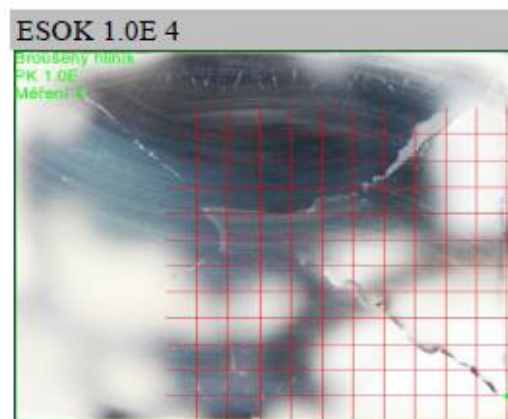
Na vzorku ulpělo: 18,25 % PK



Na vzorku ulpělo: 30,25 % PK

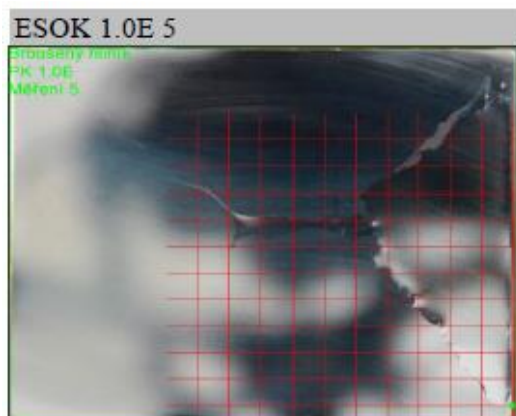


Na vzorku ulpělo: 19,25 % PK



Na vzorku ulpělo: 45,75 % PK

Obr. 23. Ulpívání procesní kapaliny na broušeném vzorku z Al-slitiny – list 2

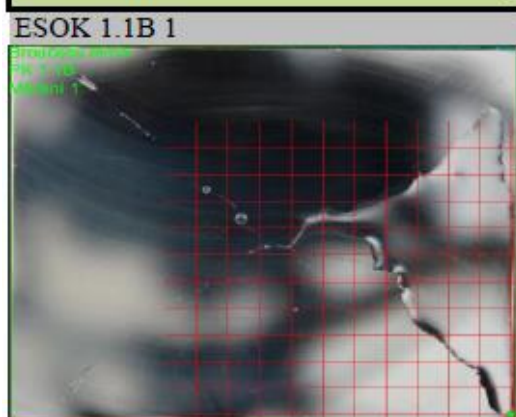


Na vzorku ulpělo: 33,5 % PK

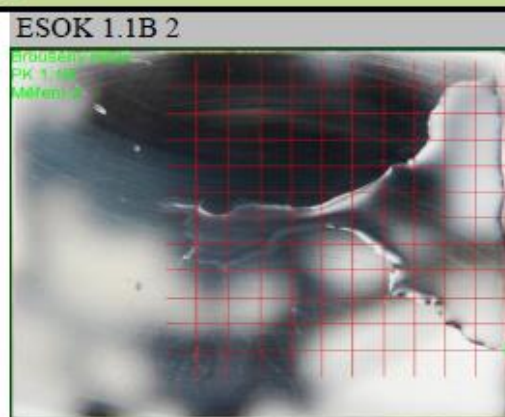
Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0E

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0E 1	18,25
ESOK 1.0E 2	30,25
ESOK 1.0E 3	19,25
ESOK 1.0E 4	45,75
ESOK 1.0E 5	33,5

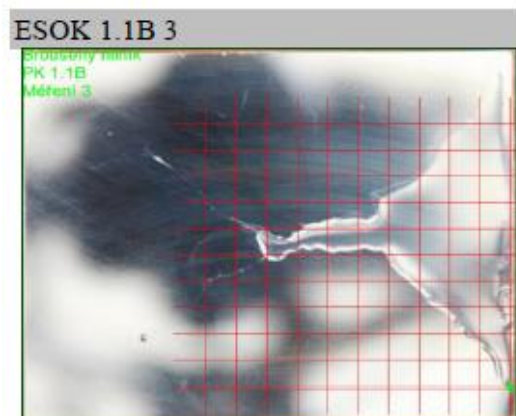
ESOK 1.1B



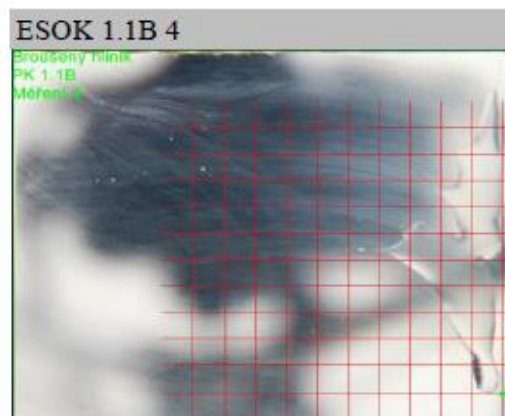
Na vzorku ulpělo: 30,75 % PK



Na vzorku ulpělo: 39,5 % PK

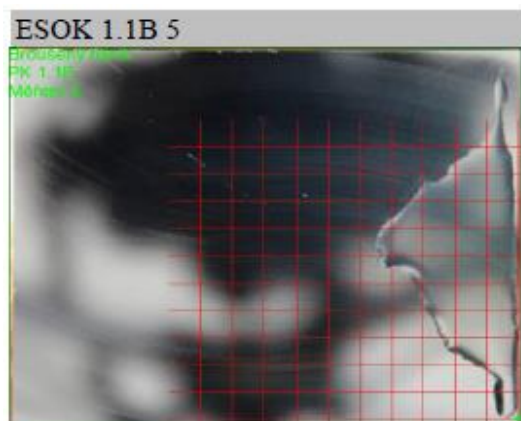


Na vzorku ulpělo: 29,25 % PK



Na vzorku ulpělo: 16,75 % PK

Obr. 24. Ulpívání procesní kapaliny na broušeném vzorku z Al-slitiny – list 3

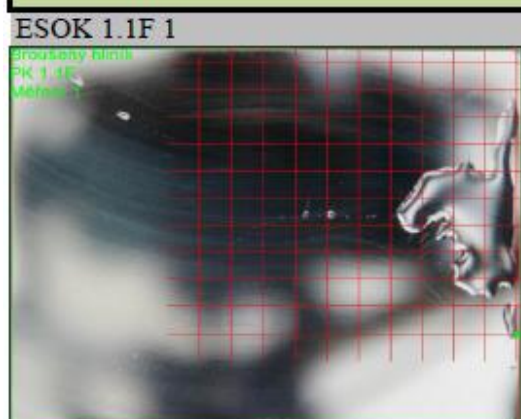


Na vzorku ulpělo: 25 % PK

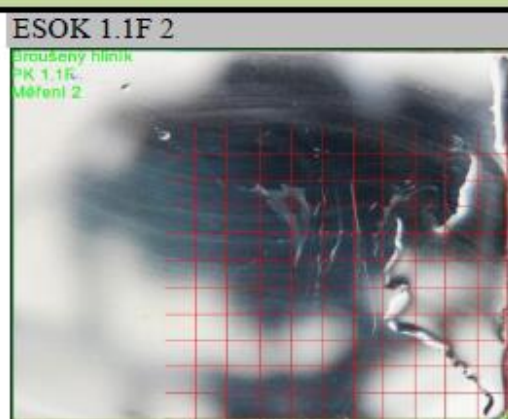
Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1B

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1B 1	30,75
ESOK 1.1B 2	39,5
ESOK 1.1B 3	29,25
ESOK 1.1B 4	16,75
ESOK 1.1B 5	25

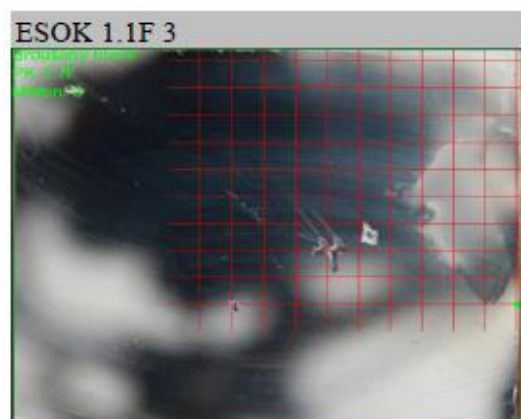
ESOK 1.1F



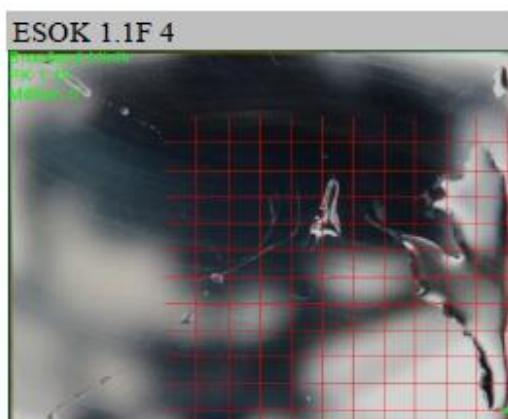
Na vzorku ulpělo: 13,25 % PK



Na vzorku ulpělo: 26,5 % PK

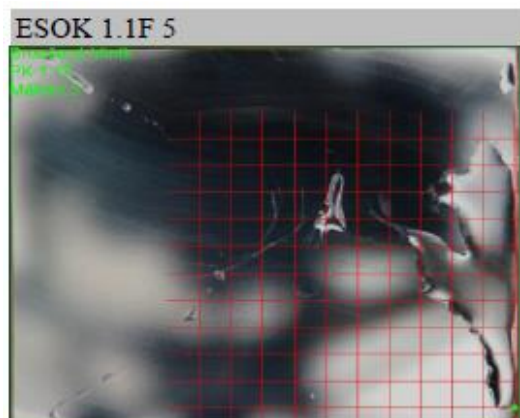


Na vzorku ulpělo: 14,75 % PK



Na vzorku ulpělo: 22,75 % PK

Obr. 25. Ulpívání procesní kapaliny na broušeném vzorku z Al-slitiny – list 4



Na vzorku ulpělo: 18,75 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1F

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1F 1	13,25
ESOK 1.1F 2	26,5
ESOK 1.1F 3	14,75
ESOK 1.1F 4	22,75
ESOK 1.1F 5	18,75

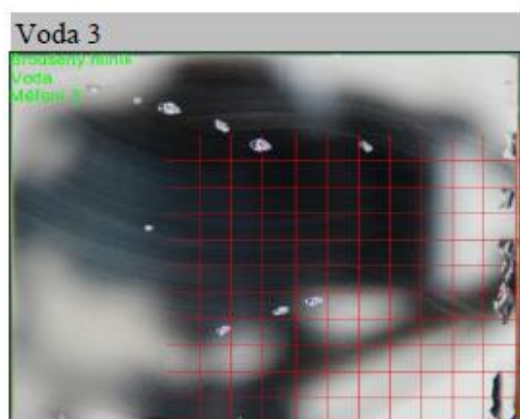
Voda



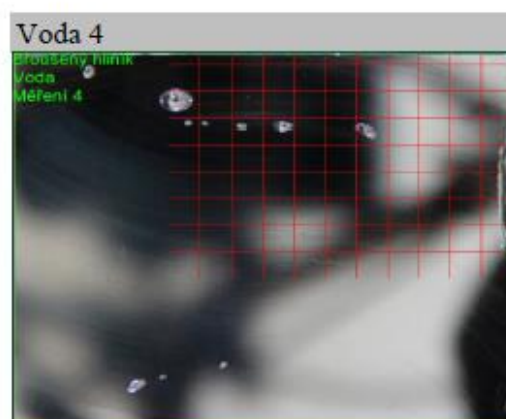
Na vzorku ulpělo: 7 % PK



Na vzorku ulpělo: 3,75 % PK

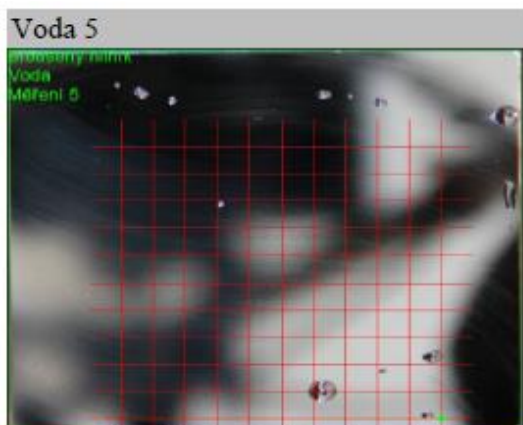


Na vzorku ulpělo: 3 % PK



Na vzorku ulpělo: 1,5 % PK

Obr. 26. Ulpívání procesní kapaliny na broušeném vzorku z Al-slitiny – list 5



Na vzorku ulpělo: 1 % PK

Tabulka naměřených hodnot Voda

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
Voda 1	7
Voda 2	3,75
Voda 3	3
Voda 4	1,5
Voda 5	1

Obr. 27. Ulpívání procesní kapaliny na broušeném vzorku z Al-slitiny – list 6

Výsledné aritmetické průměry naměřených hodnot a jejich konfidenční intervaly jsou uvedeny v tabulkách 11, 12, 13 a 14 (viz příloha 2).

Broušená ocel ČSN 14 220.3

PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	38,00	37,50	42,50	41,25	45,00	40,9 ± 4,4
1.0E	41,00	41,25	41,25	43,25	47,00	42,8 ± 3,5
1.1B	55,25	47,75	38,25	44,75	48,25	46,9 ± 8,5
1.1F	41,00	45,00	60,75	41,25	59,75	49,6 ± 13,7
Voda	14,75	16,25	13,75	9,00	12,75	13,3 ± 3,8

Tab. 11. Střední hodnoty ulpívání PK na vzorku z broušené oceli

Frézovaná ocel ČSN 14 220.3

PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	44,50	49,00	60,25	67,25	59,00	56,0 ± 12,7
1.0E	78,25	82,50	63,50	81,50	76,00	76,4 ± 10,6
1.1B	45,50	76,50	57,25	57,75	78,25	63,1 ± 19,4
1.1F	58,50	78,50	65,00	76,50	38,00	63,3 ± 22,7
Voda	27,75	27,25	19,25	14,50	29,25	23,6 ± 8,9

Tab. 12. Střední hodnoty ulpívání PK na vzorku z frézované oceli

Broušená Al-slitina ČSN 42 4254

PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	2,75	10,00	12,25	15,75	17,25	11,6 ± 7,9
1.0E	18,25	30,25	19,25	45,75	33,50	29,4 ± 15,7
1.1B	30,75	39,50	29,25	16,75	25,00	28,3 ± 11,5
1.1F	13,25	26,50	14,75	22,75	18,75	19,2 ± 7,6
Voda	7,00	3,75	3,00	1,50	1,00	3,3 ± 3,3

Tab. 13. Střední hodnoty ulpívání PK na vzorku z broušené Al-slitiny

Frézovaná Al-slitina ČSN 42 4254

PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	33,50	21,75	41,00	38,00	37,75	34,4 ± 10,5
1.0E	29,50	31,00	36,25	27,75	22,75	29,5 ± 6,8
1.1B	53,75	41,00	37,25	39,25	46,75	43,6 ± 9,3
1.1F	31,75	39,00	34,50	31,50	62,75	39,9 ± 18,2
Voda	16,75	7,25	4,75	3,00	1,00	6,6 ± 8,5

Tab. 14. Střední hodnoty ulpívání PK na vzorku z frézované Al-slitiny

Jak je patrné z výše uvedených tabulek, hodnoty konfidenčních intervalů jsou, v porovnání s aritmetickými průměry naměřených hodnot, velmi velké.

8.1 Porovnání naměřených hodnot

8.1.1 Broušený vzorek z oceli ČSN 14 220.3

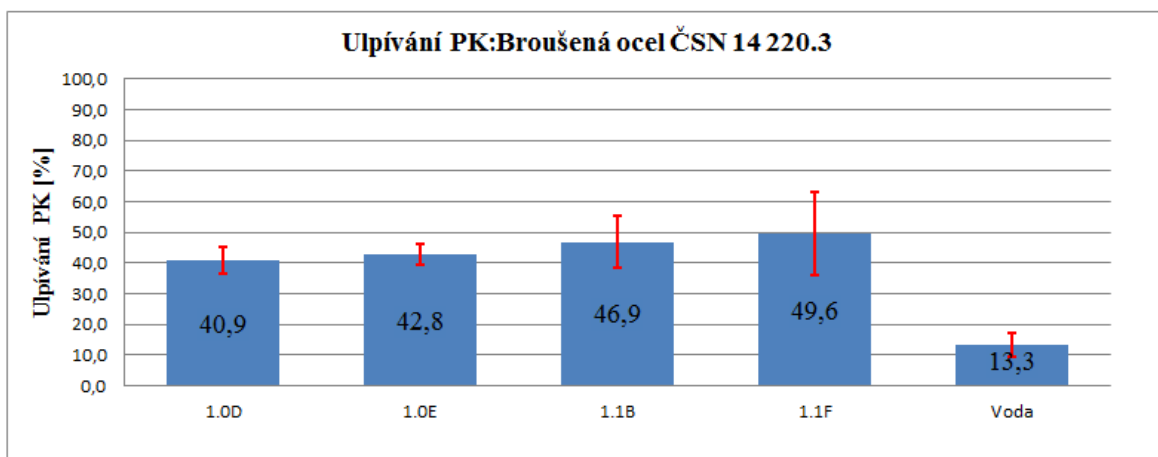
Z výsledných středních hodnot, které jsou uvedeny v tab. 11, byl vytvořen souhrnný graf 2. Voda ulpěla na nejmenší ploše zkušebního vzorku. Procesní kapalina ESOK 1.0F utkvěla na ploše 3,7x větší. Ostatní hodnocené kapaliny ulpěly na ploše obrobku přibližně stejně jako PK ESOK 1.0F. Procesní kapaliny ESOK 1.0D a ESOK 1.0E ulpěly na ploše, která představovala rozsah 41 – 43 % čtvercové sítě. Procesní kapalina ESOK 1.1B utkvěla na 46,9 % plochy vyhodnocované oblasti.

8.1.2 Frézovaný vzorek z oceli ČSN 14 220.3

Výsledky tohoto experimentu jsou znázorněny v grafu 3 a zapsány v tabulce 12. Na nejmenší ploše zkušebního vzorku ulpěla voda (23,6 %) a procesní kapalina ESOK 1.0D (56 %). Kapalina ESOK 1.0E ulpěla na 76,4 % vyhodnocované plochy, což byla největší naměřená hodnota.

Kapaliny ESOK 1.1B a ESOK 1.1F ulpěly na ploše okolo 63 %, rozdíl mezi těmito

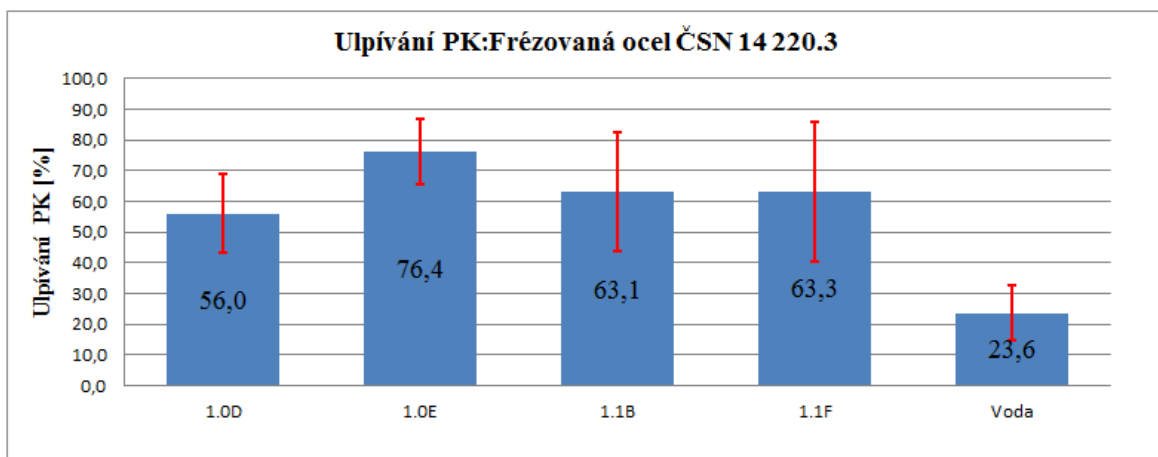
hodnotami byl minimální.



Graf 2. Ulpívání PK na vzorku z broušené oceli

8.1.3 Broušený vzorek z Al-slitiny ČSN 42 4254

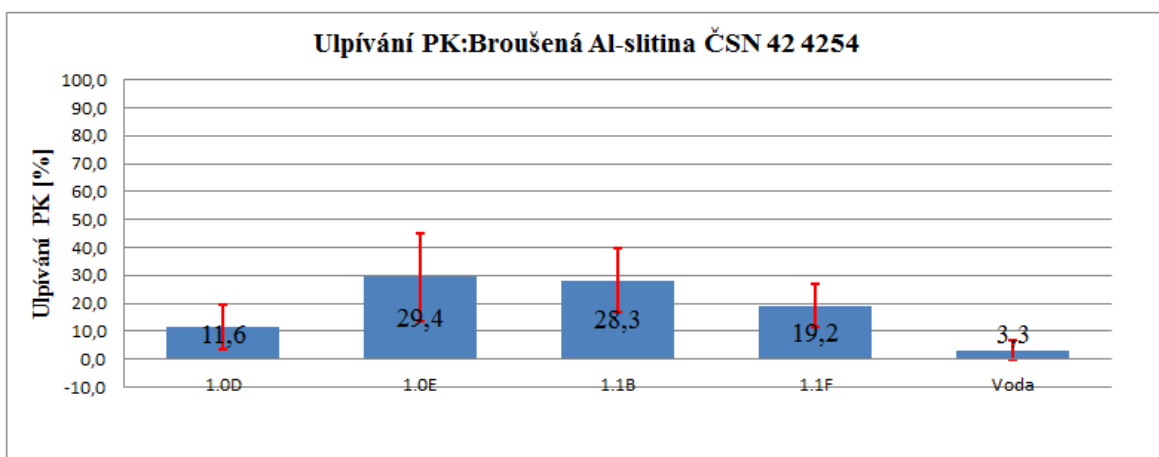
Z naměřených hodnot, které jsou zapsány v tabulce 13 a znázorněny v grafu 4, můžeme konstatovat, že voda ulpěla na nejmenší ploše zkušebního vzorku. Velmi málo ulpěla i procesní kapalina ESOK 1.0D (cca 11,6 % čtvercové sítě). Naopak nejvíce utkvěly ve vyhodnocované oblasti kapaliny ESOK 1.0E a ESOK 1.1B, které ulpěly na ploše okolo 29 %. Kapalina ESOK 1.1F utkvěla na ploše 19,2 %.



Graf 3. Ulpívání PK na vzorku z frézované oceli

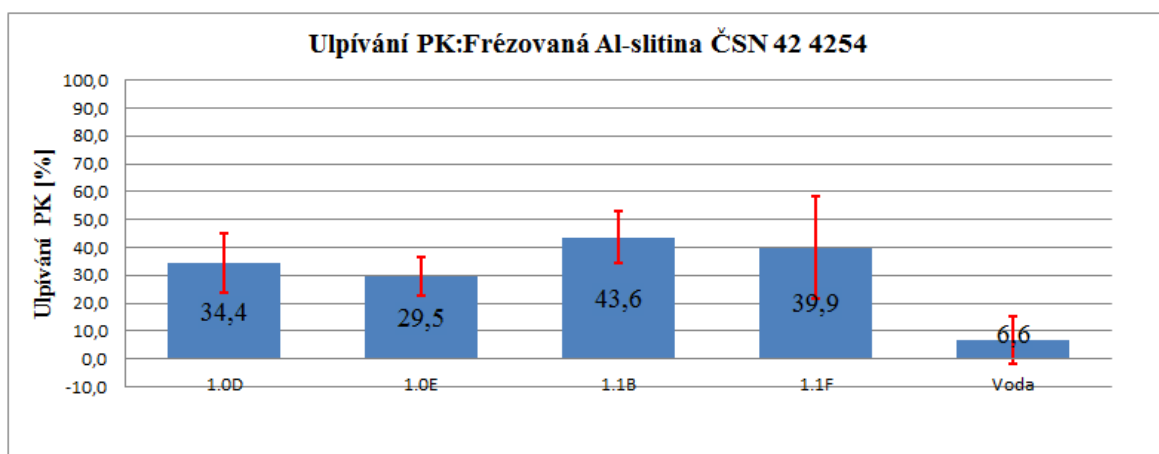
8.1.4 Frézovaný vzorek z Al-slitiny ČSN 42 4254

Naměřené hodnoty tohoto experimentu jsou zapsané v tabulce 14 a znázorněny v grafu 5. Nejméně ulpěla na zkušebním vzorku voda, kapalina ESOK 1.0D ulpěla na ploše přibližně 5x větší.



Graf 4. Ulpívání PK na vzorku z broušené Al-slitiny

Nejvíce utkvěla ve vyhodnocované oblasti kapalina ESOK 1.1B. Její ulpělá plocha byla 6,6x větší než ulpělá plocha vody. Procesní kapaliny ESOK 1.0E a ESOK 1.1B se rozprostíraly po 40 – 44 % hodnocené oblasti.

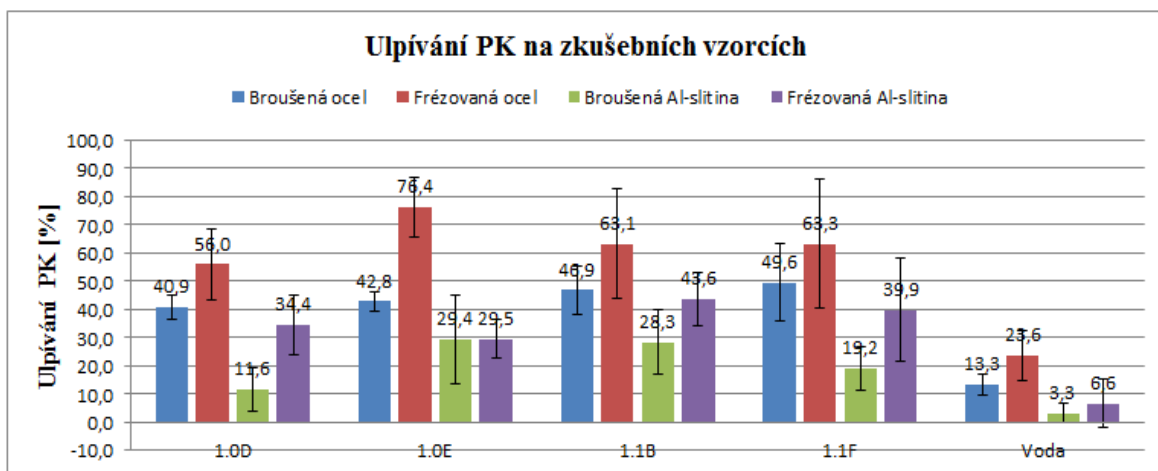


Graf 5. Ulpívání PK na vzorku z frézované Al-slitiny

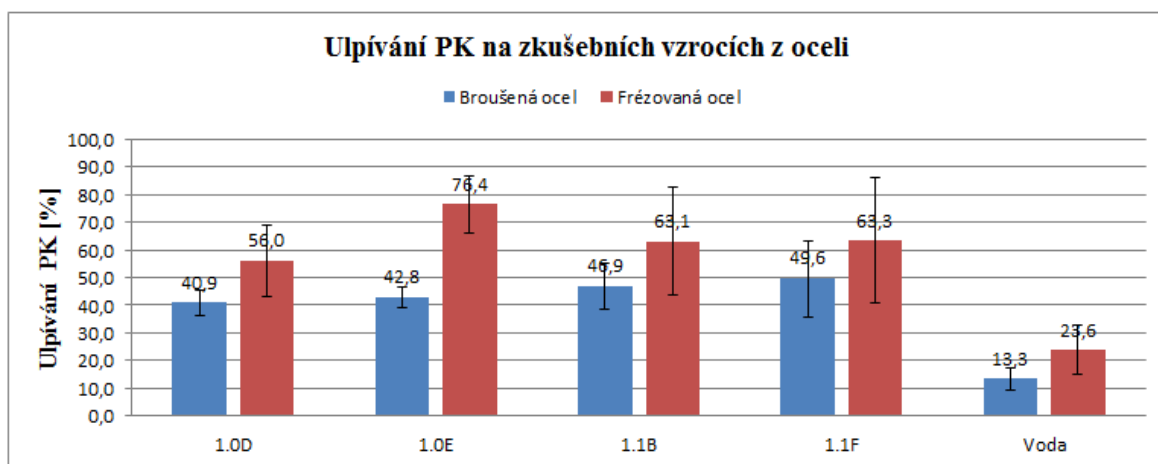
8.1.5 Ulpívání procesních kapalin na různých zkušebních vzorcích

Frézované vzorky měly drsnější povrch než vzorky broušené. Z naměřených hodnot, které jsou znázorněny v grafech 6, 7 a 8, je patrné, že na drsnějším obroku ulpívá při stejných podmínkách více procesní kapaliny.

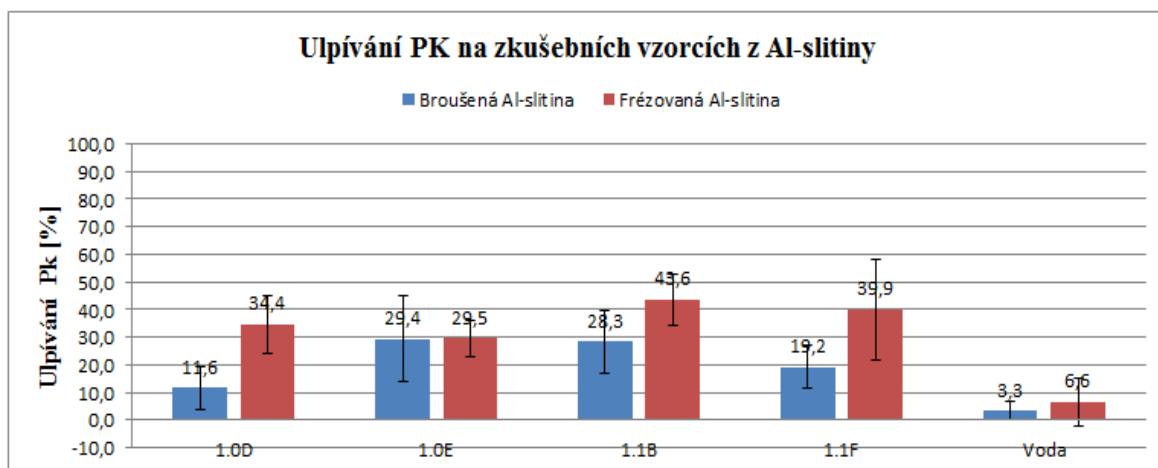
Zkušební vzorky byly vyrobeny z dvou různých materiálů: oceli ČSN 14 220.3 a slitiny hliníku ČSN 42 4254. Po porovnávání grafu 7 s grafem 8, můžeme tvrdit, že na obrobku z oceli ulpívá při stejných podmínkách více procesní kapaliny.



Graf 6. Ulpívání PK na zkušebních vzorcích



Graf 7. Ulpívání PK na zkušebních vzorcích z oceli



Graf 8. Ulpívání PK na zkušebních vzorcích z Al-slitiny

9 Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo zhodnotit procesní kapaliny ze společnosti Paramo, a.s. z hlediska ulpívání na obrobku. Pomocí statistické metody zpracování naměřených hodnot, bylo zjištěno, že metoda hodnocení ulpívání procesních kapalin není dostatečně přesná.

Z naměřených hodnot na základě porovnávání výsledků experimentů, lze předpokládat, že:

- drsnost povrchu obrobku má významný vliv na množství ulpělé procesní kapaliny na jeho povrchu (na obrobku s větší drsností povrchu ulpívá větší množství procesní kapaliny);
- materiál zkušebního vzorku a jeho fyzicko-chemické vlastnosti (smáčení povrchu kapalinou, molekulové jevy atd.) významně ovlivňují velikost ulpělé plochy procesní kapaliny (na obrobku z Al-slitiny ČSN 42 4254 ulpívá menší množství procesní kapaliny než na obrobku z oceli ČSN 14 220.3);
- množství ulpělé procesní kapaliny závisí na fyzicko-chemických vlastnostech (smáčení, molekulové jevy, povrchová energie a povrchové napětí, viskozita atd.) a jejím chemickém složení (nejméně ze všech zkoumaných kapalin ulpěla voda).

Tuto práci by bylo vhodné do budoucna rozšířit a zdokonalit. Pro zdokonalení výše uvedené metody bych navrhoval následující kroky:

- propojit danou metodou s metodami měření smáčivosti, kontaktních úhlů smáčení, povrchové energie a povrchového napětí látek, viskozity;
- zohlednit chemické složení jak procesních kapalin, tak i zkušebních vzorků;
- maximálně stabilizovat podmínky provedení experimentu (konstantní teplota, tlak a vlhkost v laboratoři, automatizace procesu měření, zalévání a naklápění vzorku);
- porovnat zkoumané procesní kapaliny s kapalinami od jiných výrobců;
- výrazně zvětšit počet měření;
- vyrovnat rozměry zkušební vzorku a čtvercové sítě, a také optimalizovat způsob jejího umístění na zkušebním vzorku.

Výsledky a informace v této bakalářské práci dokazují, že výzkum pohybu a chování

nekonstantního množství chemicky složité kapaliny na povrchu tělesa je velmi obtížný.

Tato bakalářská práce souvisí s řešením výzkumného projektu TA02021332, který byl podporován Technologickou agenturou České republiky a který byl zaměřen na ekologické obrábění kapaliny.

Seznam použité literatury

- [1] STAVINOHA, Z. *Základy teorie třískového obrábění*. 2011 [cit. 10. května 2014]. Dostupné na:
<http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=18764&docGroup=4931&cmd=0&instance=2>.
- [2] PAĐOUR, L. *Kalibrace digitálního výškoměru Mitutoyo*. [Diplomová práce]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013. 82 s. [cit. 10. května 2015]. Dostupné na:
http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24275/pa%C4%8Four_2013_dp.pdf?sequence=1.
- [3] BULÁNEK, J. *Teorie třískového obrábění kovů*. [Bakalářská práce]. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. 61 s. [cit. 24 dubna 2014]. Dostupné na:
<http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=33586&instance=2>.
- [4] SANDVIK COROMANT. *Znalosti a zkušenosti*. [cit. 19 června 2015]. Dostupné na:
<http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/introduction/Pages/default.aspx>.
- [5] JELÍNEK, A. *Analýza podmínek obrábění hliníku a jeho slitin*. [Bakalářská práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 29 s. [cit. 19 června 2015]. Dostupné na:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18575.
- [6] T-SUPPORT. *Zvláštnosti třískového obrábění vybraných materiálových skupin*. [Technický týdeník]. 2012. [cit. 19 června 2015]. Dostupné na:
<http://www.t-support.cz/kat/zvlastnosti-triskoveho-obrabeni-vybranych-materialovych-skupin-12>.
- [7] STRYAL, J. *Hodnocení vlivu procesních kapalin na technologii čelního frézování antikorozní oceli*. [Diplomová práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. 74 s.

- [8] JERSÁK, J., POPOV, A. *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace*. Rec. F. Holešovský. 1 vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. 88 s. ISBN 978-80-7494-142-9.
- [9] HOLÝ, J. *Řezné kapaliny a jejich použití při obrábění*. [Diplomová práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. 53 s. [cit. 17. května 2015]. Dostupné na:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27633.
- [10] STŘELCOVÁ, R. *Řezné kapaliny a jejich uplatnění v moderní výrobě*. [Bakalářská práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008. 44 s. [cit. 17 května 2015]. Dostupné na:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6359.
- [11] PETŘÍK, V. *Využití různých systému chlazení pro obrábění materiálů*. [Diplomová práce]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. 105 s. [cit. 17 května 2015]. Dostupné na:
https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/18283/pet%C5%99%C3%A4Dk_2011_dp.pdf?sequence=1.
- [12] ČILLÍKOVÁ, M. *Top trendy v obrábění – VI. Časť – Procesné médiá*. [Příručka]. aj. Žilina: MEDIA/ST, s.r.o., Január 2008. ISBN 978-80-969789-3-9
- [13] BUDA, J., SOUČEK, J., VASILKO, K. *Teória obrábania*. 1. vyd. Bratislava, Praha: ALFA, SNTL, 1983. 273 s.
- [14] HOLUB, J. *Smáčivosť povrchu vŕči kapalinám a druhá viskozita kapalin*. [Bakalářská práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. 38 s. [cit. 20 května 2015]. Dostupné na:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29171.

- [15] SVOBODA, J. *Studie vlivu povrchové energie různých druhů kapalin a povrchů – experiment*. [Bakalářská práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007. 47 s. [cit. 20 května 2015]. Dostupné na: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=4897.
- [16] FRODLOVÁ, B., RUDOLF, P., ZAVADIL, L., KOZUBKOVÁ, J., RAUTOVÁ, J. *Vliv částečné smáčivosti na proudění a kavitační oblast v Lavalově dýze*. [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, VUT v Brně, 2011. 8 s. [cit. 20 května 2015]. Dostupné na: http://www.ansys.stuba.sk/2011/pdf/CFD_UZIVATELSKA_4_VSB_Kozubkova.pdf.
- [17] WIKISKRIPTA. *Viskozita*. 2014. [cit. 20 května 2015]. Dostupné na: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Viskozita>.
- [18] NOVÁK J. a kol. *Fyzikální chemie – bakalářský a magisterský kurz*. [online]. Version 1.0, Praha: VŠCHT Praha, 2008. 506 s. ISBN 978-80-7080-675-3. [cit. 19 června 2015]. Dostupné na: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-675-3/pages-pdf/.
- [19] KRÁSNÝ, I. *Měření kontaktních úhlů smáčení a určování povrchové energie plastů*. [Diplomová práce]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. 115 s. [cit. 23 června 2015]. Dostupné na: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14169/kr%C3%A1sn%C3%BD_2010_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [20] MĚCHLOVÁ, E. *Molekulová fyzika 1*. 1. vyd. [Studijní materiály pro distanční kurz: Molekulová fyzika]. [online]. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2004. 61 s. ISBN 80-7042-989-5. [cit. 28 dubna 2014]. Dostupné na: <http://artemis.osu.cz/molfs/MOLFS1.pdf>.
- [21] MALIJEVSKÝ, A., NOVÁK J. P., LABÍK, S., MALIJEVSKÁ, I. *Breviář z fyzikální chemie*. [online]. Praha: Ústav fyzikální chemie VŠCHT v Praze, 2001. 519 s. [cit. 22 června 2015]. Dostupné na: <vscht.cz/fch/cz/pomucky/BREVALL.pdf>.

- [22] ÚSTECKÉ MATERIÁLOVÉ CENTRUM. 2. *Přednáška: Studium povrchových vlastností nanostrukturovaných materiálů*. [online]. 2012. 12 s. [cit. 22 června 2015]. Dostupné na:
http://umc.ujep.cz/doc/charakterizace_2_prednaska_studentum.pdf.
- [23] WIKIPEDIE. *Adheze*. 2015. [cit. 20 června 2015]. Dostupné na:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Adheze>.
- [24] BARTOVSKÁ, L., ŠIŠKOVÁ, M. *Co je co v povrchové a koloidní chemii*. Verze 1.0. [Výkladový slovník]. [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2005. [cit. 20 května 2015]. Dostupné na:
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/.
- [25] LABÍK, S., BUREŠ, M., CHUCHVALEC, P., KOLAFA, J. *Příklady z fyzikální chemie online*. [online] Praha: VŠCHT, 2014. [cit. 20 května 2015]. Dostupné na:
<http://old.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.12.1.html>.
- [26] *Charakteristika processa smačivaniya* [cit. 20 května 2015]. Dostupné na:
<http://knowledge.allbest.ru/chemistry/d-2c0a65625b2bd78b5d43a89521216d37.html>
- [27] BUJOK, P., PÁNEK, P. *Technologie zpracování ropy a zemního plynu*. [skripta online] Hořice: Střední průmyslová škola kamenická a sochařská, 2011. [cit. 20 června 2015]. Dostupné na:
<http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2013/09/TZ-ropa-DS.pdf>.
- [28] ČSN ISO 8688-1. *Testovanie trvanlivosti při frézování, Část 1: Rovinné frézovanie*. Praha: Centrum služeb pro normalizaci, 1993.

Seznam příloh

Příloha 1 – Hodnocení ulpívání procesních kapalin (měřicí protokoly)	33 strany
Příloha 2 – Hodnocení ulpívání procesních kapalin (statistická metoda)	6 stran
Příloha 3 – Fotografie (elektronická podoba)	100 kusů

PŘÍLOHA 1

HODNOCENÍ ULPÍVÁNÍ PROCESNÍCH KAPALIN (MERICI PROTOKOL)

Ulpívání procesní kapaliny

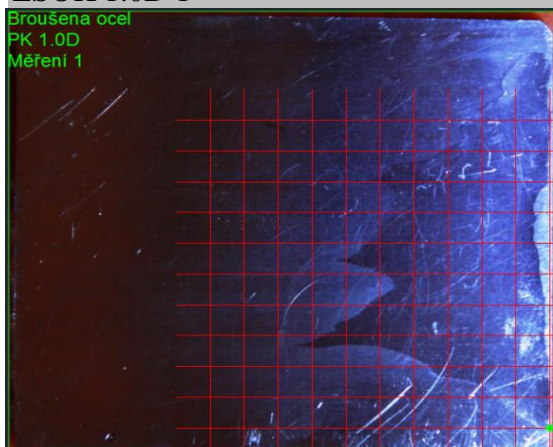
Datum měření 24.5.2014

Měření provedl: T. Bogdashkin

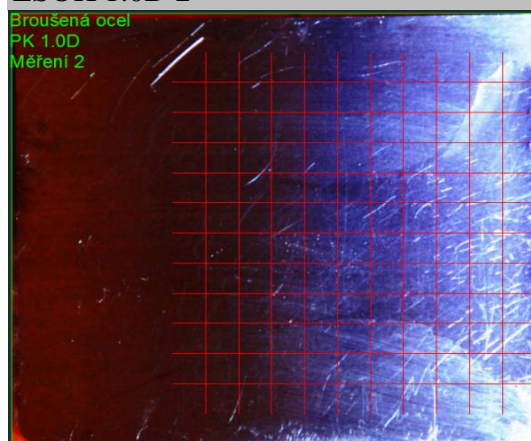
- procesní kapaliny: ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1F, ESOK 1.1B, Voda
- technologie obábění: Broušení

Zkušební vzorek

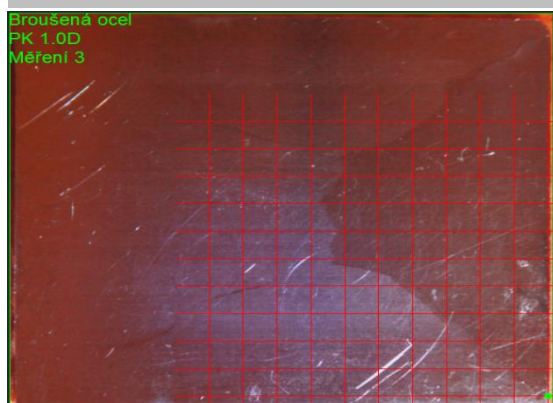
rozměry zkušebního vzorku	80 x 70 x 10
materiál vzorku	ČSN 14 220.3
drsnost povrchu vzorku Ra	0,2 μm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
úhel natočení vzorku	90°
výdrž v natočené poloze	8 sec
dobu ustavení kapaliny po natočení zpět do vodorovné polohy	3 min

ESOK 1.0D**ESOK 1.0D 1**

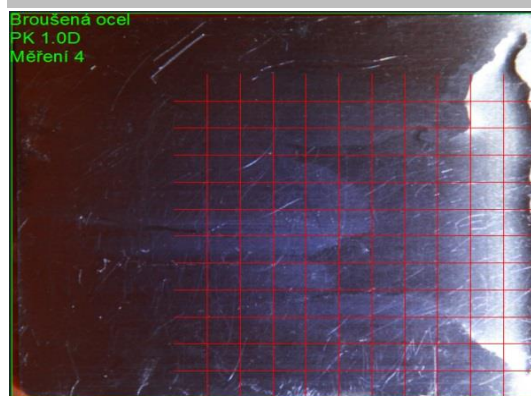
Na vzorku ulpělo: 38,00 % PK

ESOK 1.0D 2

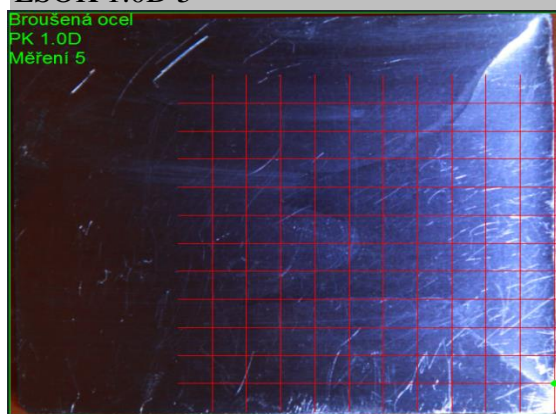
Na vzorku ulpělo: 37,50 % PK

ESOK 1.0D 3

Na vzorku ulpělo: 42,50 % PK

ESOK 1.0D 4

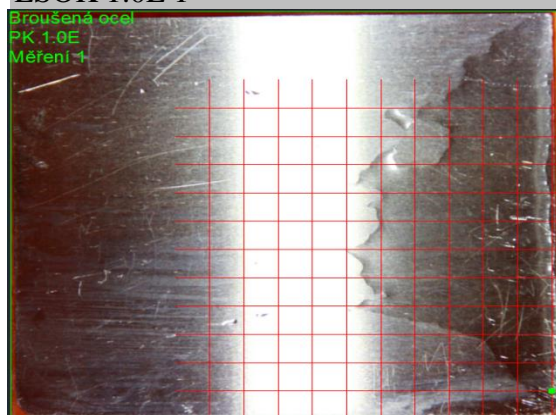
Na vzorku ulpělo: 41,25 % PK

ESOK 1.0D 5

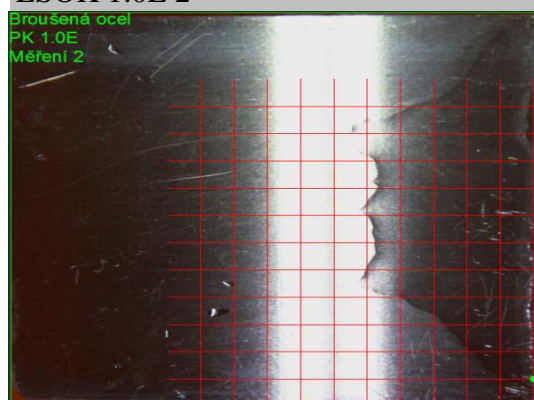
Na vzorku ulpělo: 45,00 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0D

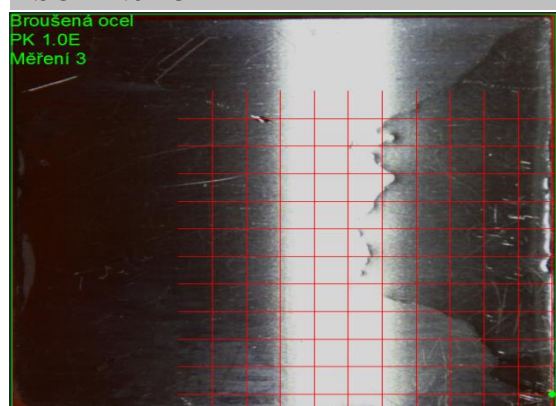
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0D 1	38,00
ESOK 1.0D 2	37,50
ESOK 1.0D 3	42,50
ESOK 1.0D 4	41,25
ESOK 1.0D 5	45,00

ESOK 1.0E**ESOK 1.0E 1**

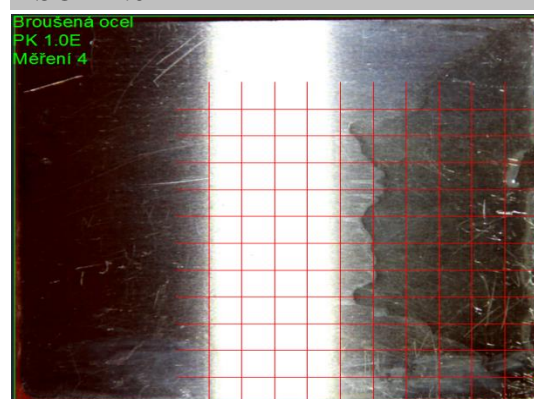
Na vzorku ulpělo: 41,00 % PK

ESOK 1.0E 2

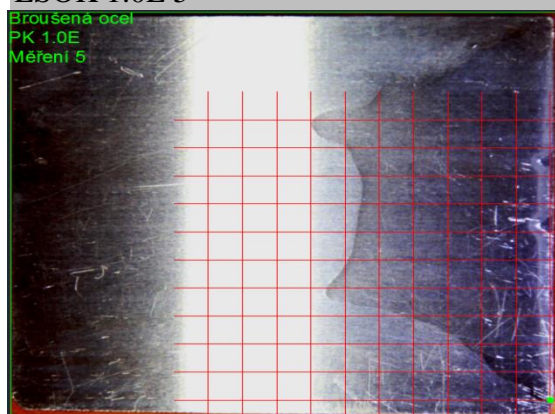
Na vzorku ulpělo: 41,25 % PK

ESOK 1.0E 3

Na vzorku ulpělo: 41,25 % PK

ESOK 1.0E 4

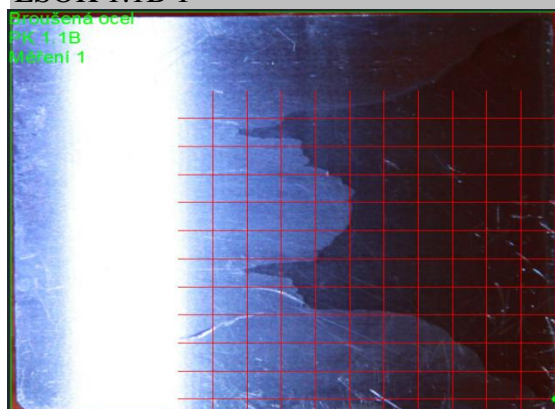
Na vzorku ulpělo: 43,25 % PK

ESOK 1.0E 5

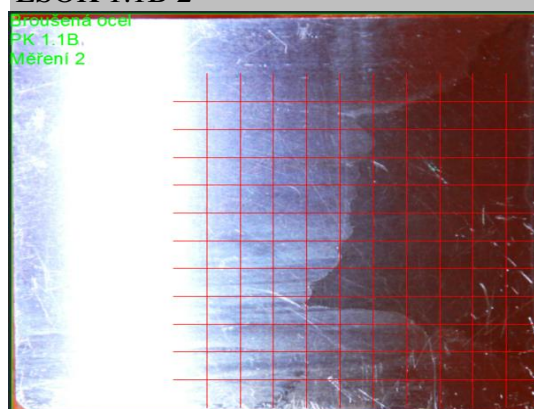
Na vzorku ulpělo: 47,00 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0E

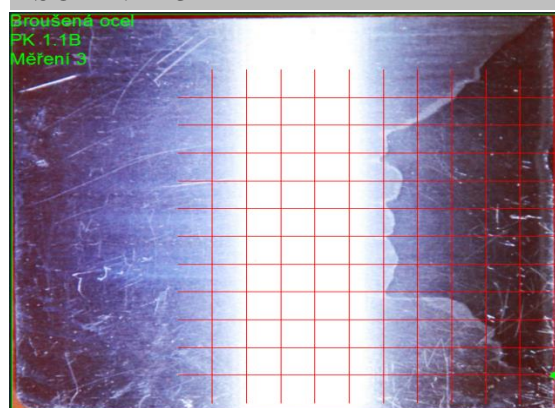
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0E 1	41,00
ESOK 1.0E 2	41,25
ESOK 1.0E 3	41,25
ESOK 1.0E 4	43,25
ESOK 1.0E 5	47,00

ESOK 1.1B**ESOK 1.1B 1**

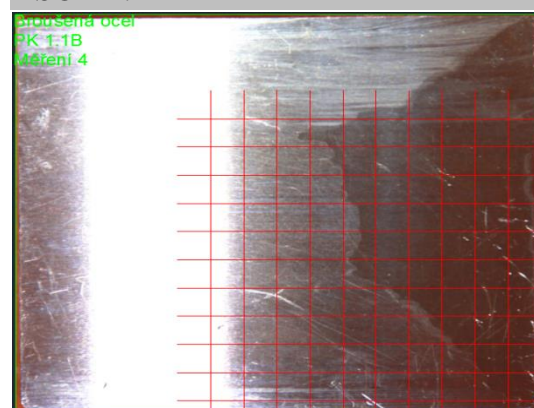
Na vzorku ulpělo: 55,25 % PK

ESOK 1.1B 2

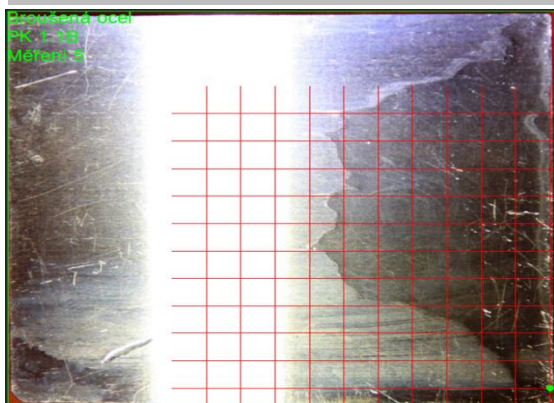
Na vzorku ulpělo: 47,75 % PK

ESOK 1.1B 3

Na vzorku ulpělo: 38,25 % PK

ESOK 1.1B 4

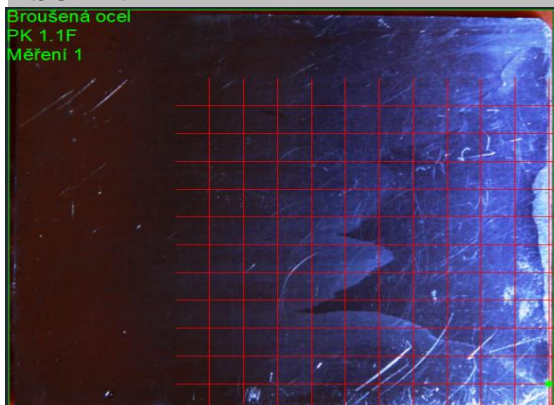
Na vzorku ulpělo: 44,75 % PK

ESOK 1.1B 5

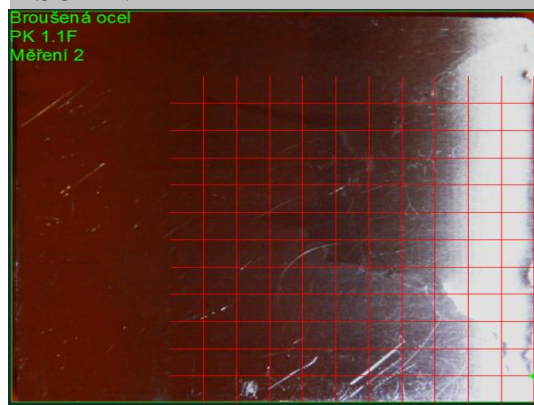
Na vzorku ulpělo: 48,25 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1B

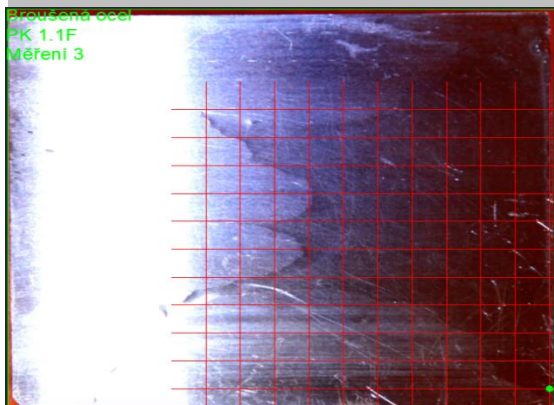
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1B 1	55,25
ESOK 1.1B 2	47,75
ESOK 1.1B 3	38,25
ESOK 1.1B 4	44,75
ESOK 1.1B 5	48,25

ESOK 1.1F**ESOK 1.1F 1**

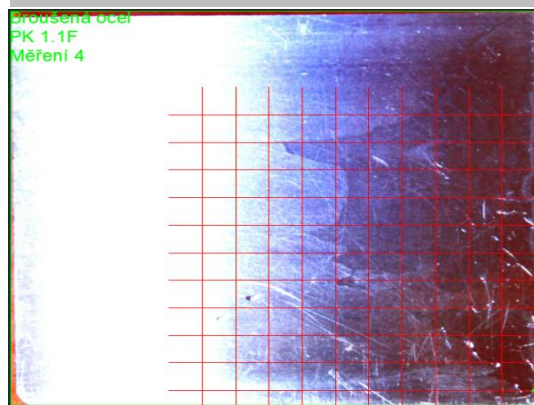
Na vzorku ulpělo: 41,00 % PK

ESOK 1.1F 2

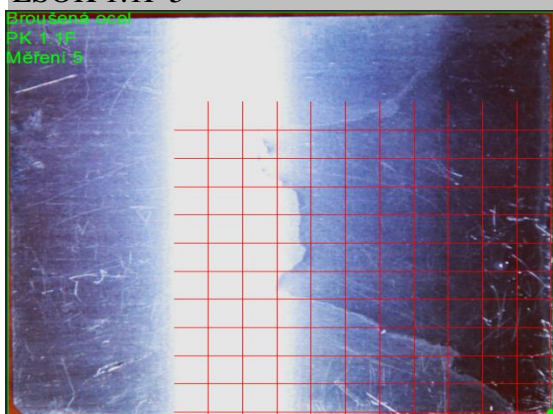
Na vzorku ulpělo: 45,00 % PK

ESOK 1.1F 3

Na vzorku ulpělo: 60,75 % PK

ESOK 1.1F 4

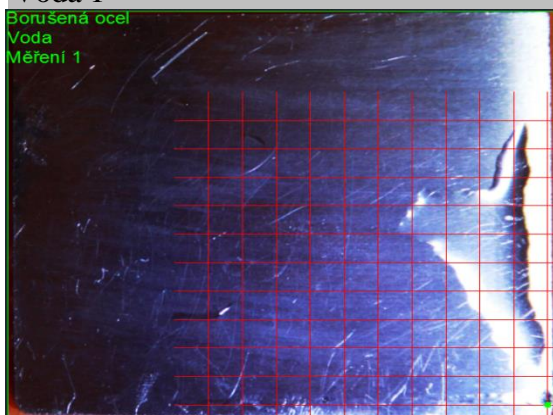
Na vzorku ulpělo: 41,25 % PK

ESOK 1.1F 5

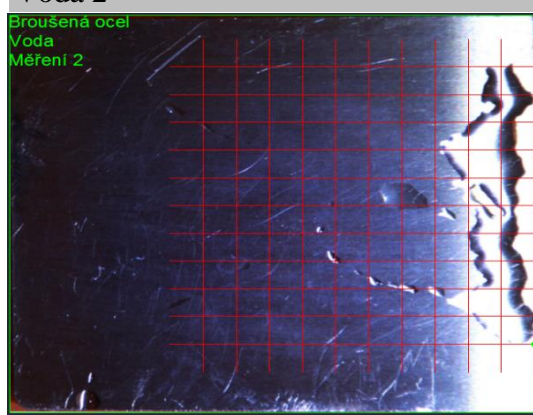
Na vzorku ulpělo: 59,75 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1F

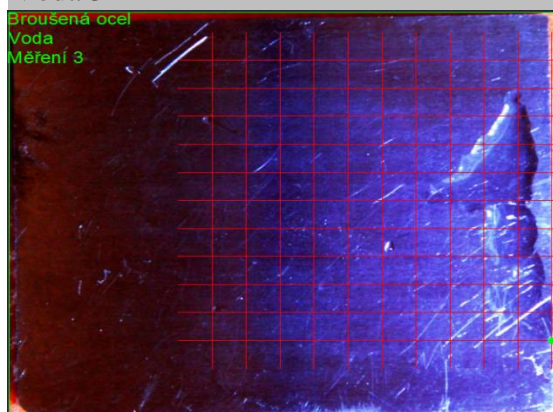
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1F 1	41,00
ESOK 1.1F 2	45,00
ESOK 1.1F 3	60,75
ESOK 1.1F 4	41,25
ESOK 1.1F 5	59,75

Voda**Voda 1**

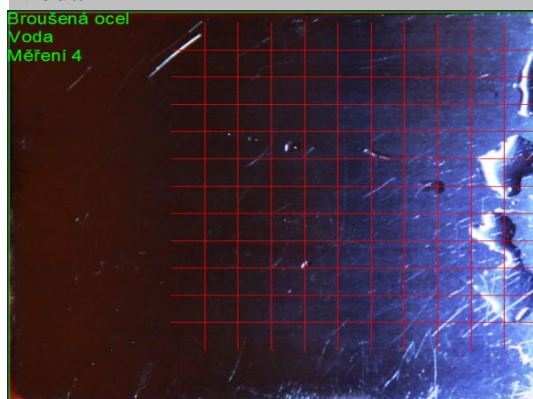
Na vzorku ulpělo: 14,75 % PK

Voda 2

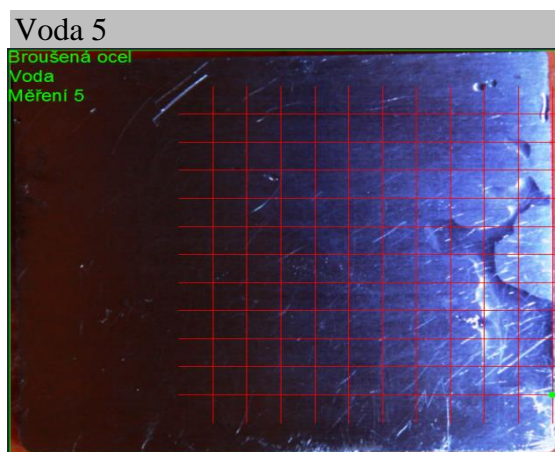
Na vzorku ulpělo: 16,25 % PK

Voda 3

Na vzorku ulpělo: 13,75 % PK

Voda 4

Na vzorku ulpělo: 9,00 % PK

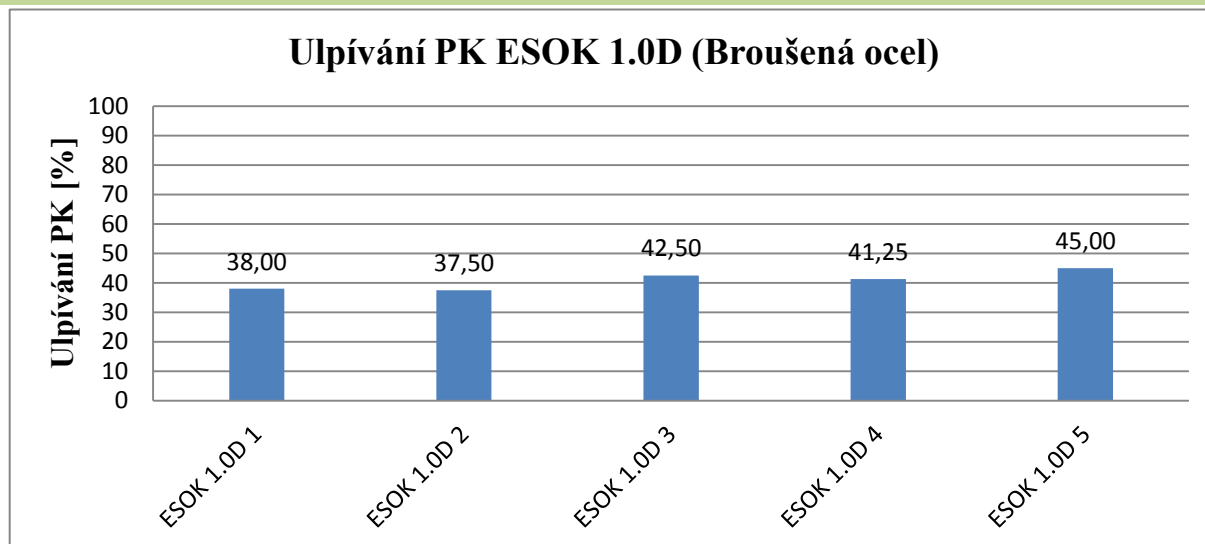


Na vzorku ulpělo: 12,75 % PK

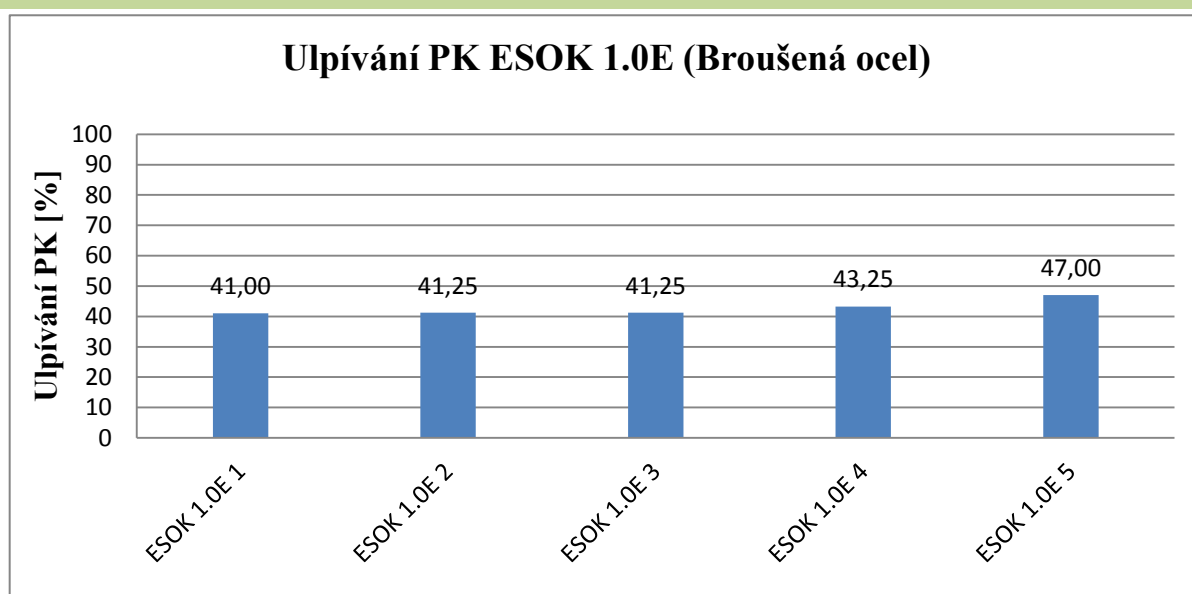
Tabulka naměřených hodnot Voda

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
Voda 1	14,75
Voda 2	16,25
Voda 3	13,75
Voda 4	9,00
Voda 5	12,75

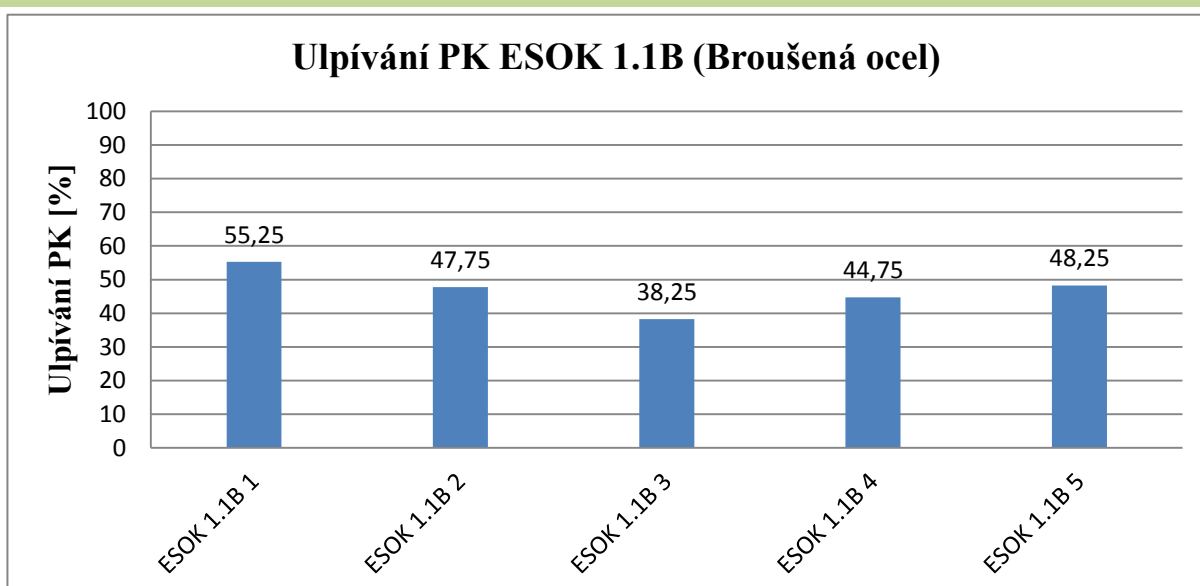
Graf ESOK 1.0D



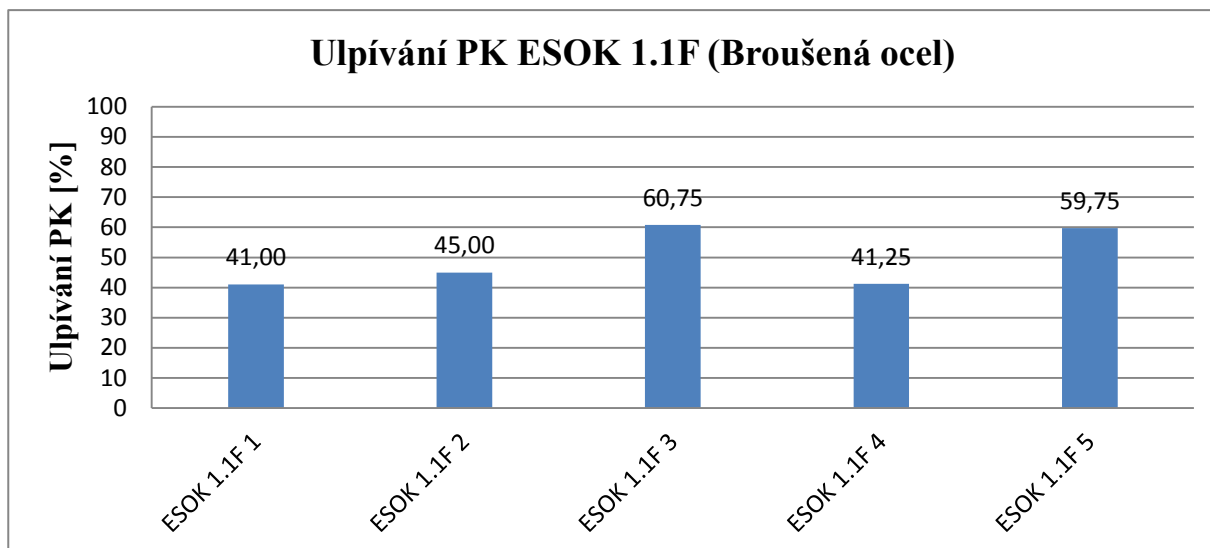
Graf ESOK 1.0E



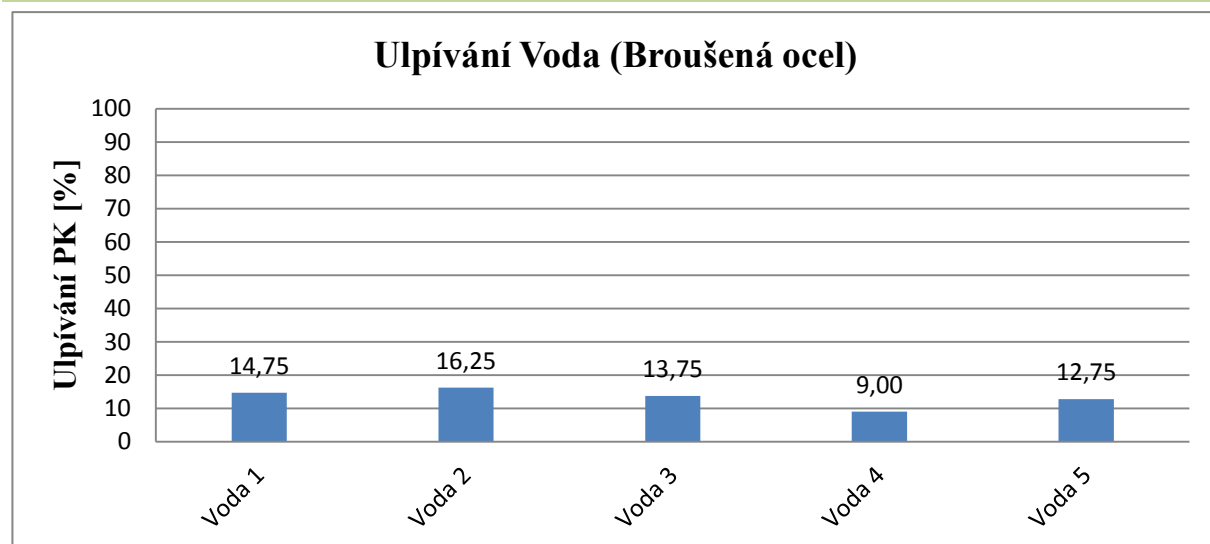
Graf ESOK 1.1B



Graf ESOK 1.1F



Graf Voda



Ulpívání procesní kapaliny

Datum měření 24.5.2014

Měření provedl: T. Bogdashkin

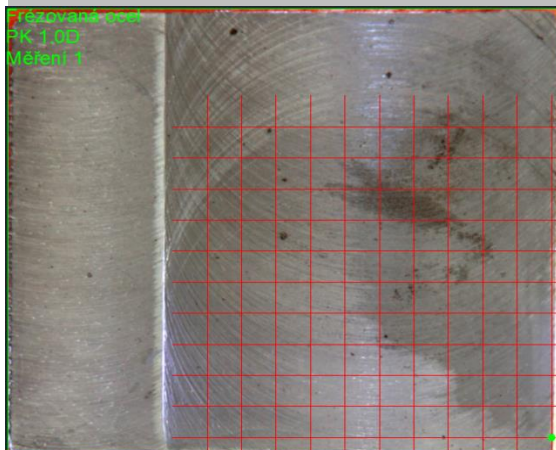
- procesní kapaliny: ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1F, ESOK 1.1B, Voda
- technologie obábění: Frézování

Zkušební vzorek

rozměry zkušebního vzorku	80 x 70 x 10
materiál vzorku	ČSN 14 220.3
drsnost povrchu vzorku Ra	2,5 μ m
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
úhel natočení vzorku	90°
výdrž v natočené poloze	8 sec
doba ustavení kapaliny po natočení zpět do vodorovné polohy	3 min

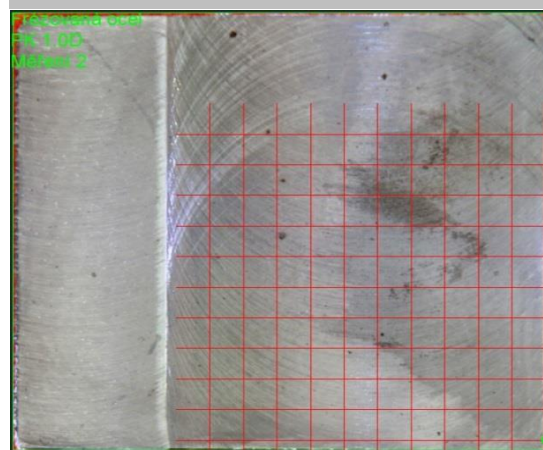
ESOK 1.0D

ESOK 1.0D 1



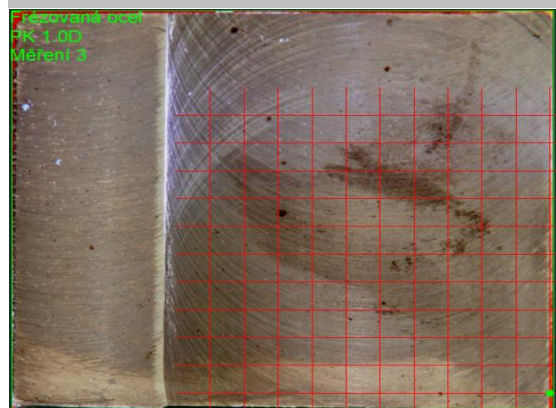
Na vzorku ulpělo: 44,50 % PK

ESOK 1.0D 2



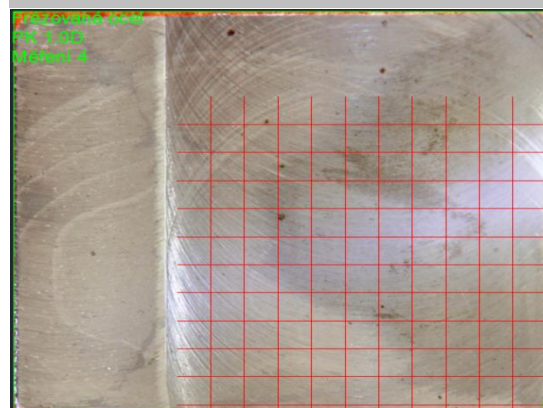
Na vzorku ulpělo: 49,00 % PK

ESOK 1.0D 3

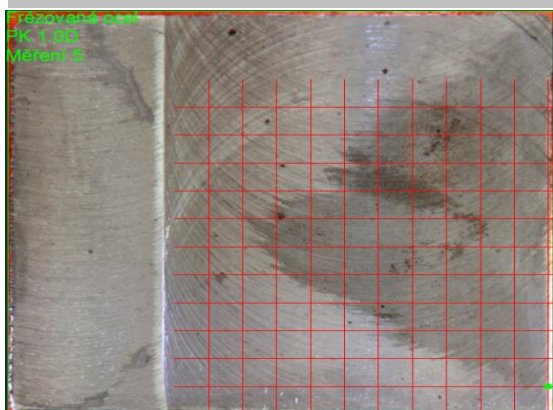


Na vzorku ulpělo: 60,25 % PK

ESOK 1.0D 4



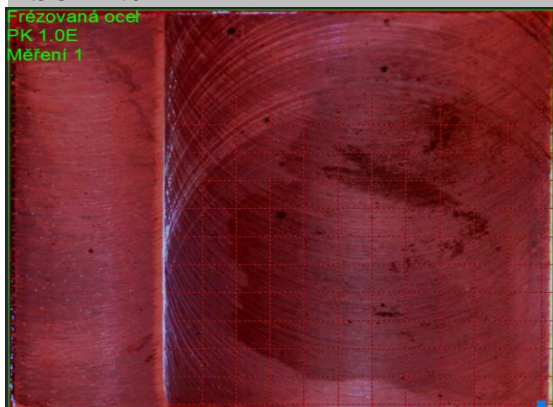
Na vzorku ulpělo: 67,25 % PK

ESOK 1.0D 5

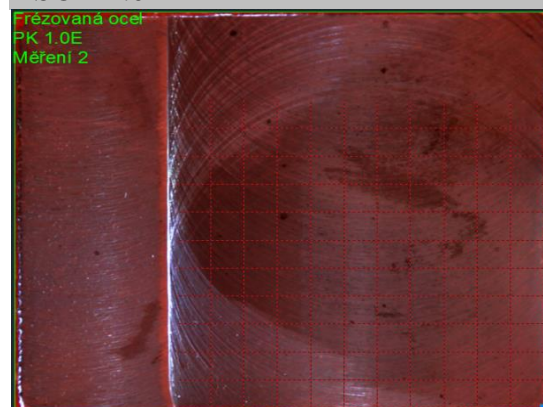
Na vzorku ulpělo: 59,00 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0D

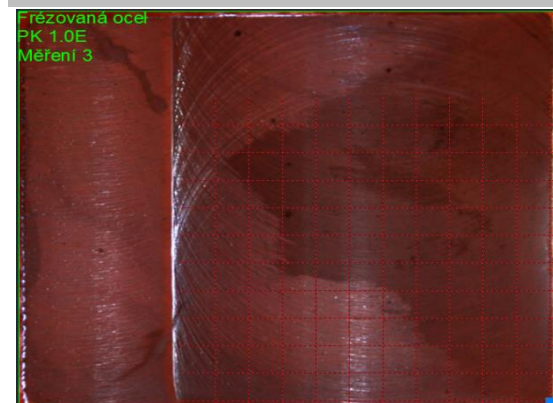
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0D 1	44,50
ESOK 1.0D 2	49,00
ESOK 1.0D 3	60,25
ESOK 1.0D 4	67,25
ESOK 1.0D 5	59,00

ESOK 1.0E**ESOK 1.0E 1**

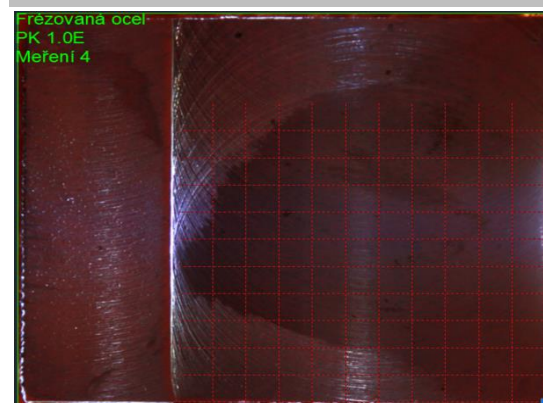
Na vzorku ulpělo: 78,25 % PK

ESOK 1.0E 2

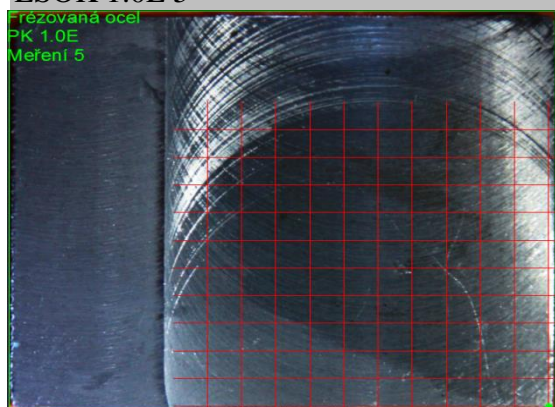
Na vzorku ulpělo: 82,50 % PK

ESOK 1.0E 3

Na vzorku ulpělo: 63,50 % PK

ESOK 1.0E 4

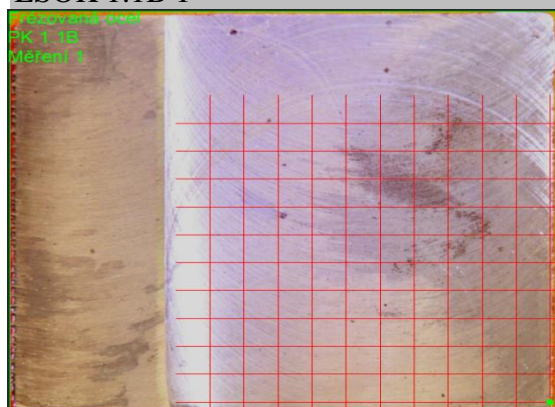
Na vzorku ulpělo: 81,50 % PK

ESOK 1.0E 5

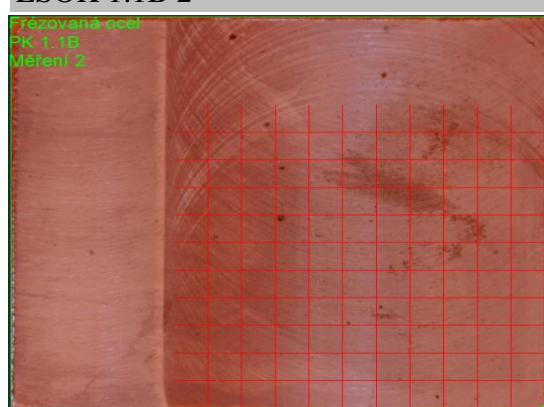
Na vzorku ulpělo: 76,00 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0E

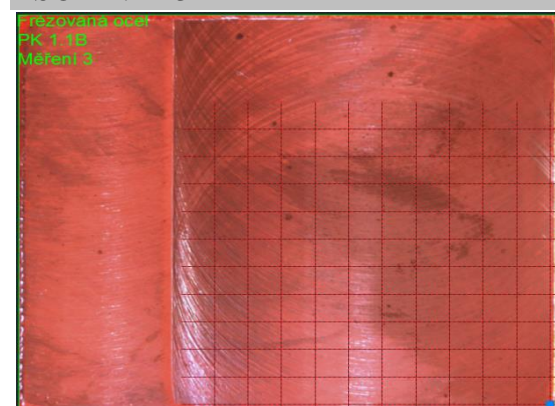
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0E 1	78,25
ESOK 1.0E 2	82,50
ESOK 1.0E 3	63,50
ESOK 1.0E 4	81,50
ESOK 1.0E 5	76,00

ESOK 1.1B**ESOK 1.1B 1**

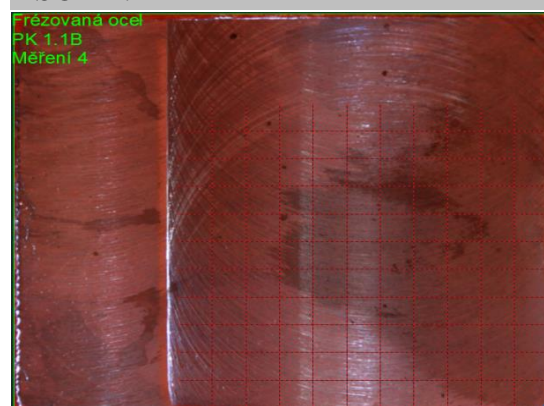
Na vzorku ulpělo: 45,50 % PK

ESOK 1.1B 2

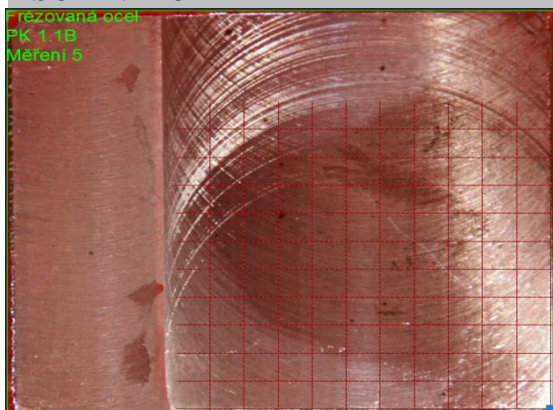
Na vzorku ulpělo: 76,50 % PK

ESOK 1.1B 3

Na vzorku ulpělo: 57,25 % PK

ESOK 1.1B 4

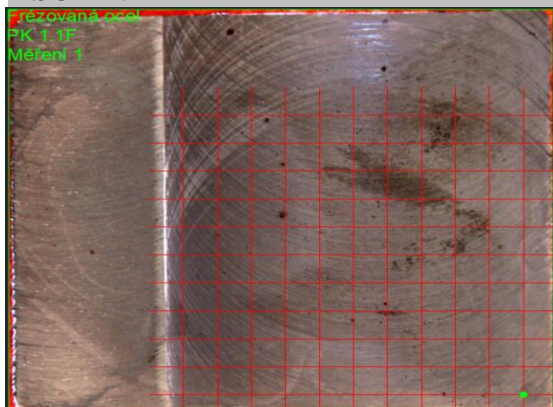
Na vzorku ulpělo: 57,75 % PK

ESOK 1.1B 5

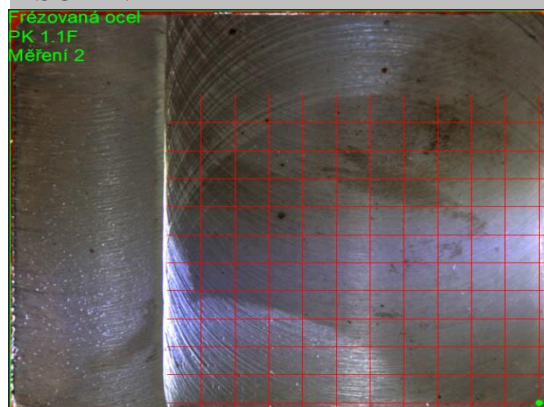
Na vzorku ulpělo: 78,25 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1B

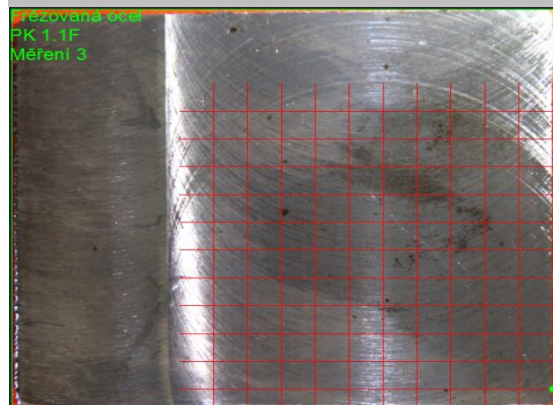
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1B 1	45,50
ESOK 1.1B 2	76,50
ESOK 1.1B 3	57,25
ESOK 1.1B 4	57,75
ESOK 1.1B 5	78,25

ESOK 1.1F**ESOK 1.1F 1**

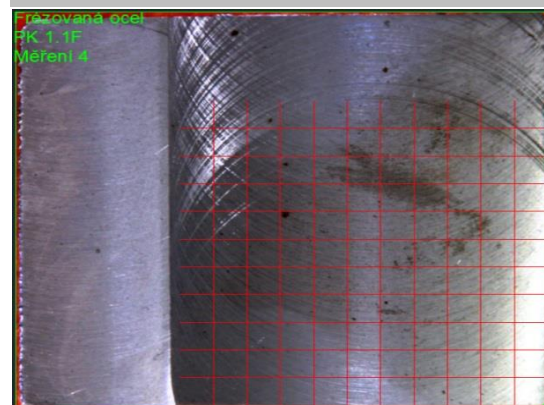
Na vzorku ulpělo: 58,50 % PK

ESOK 1.1F 2

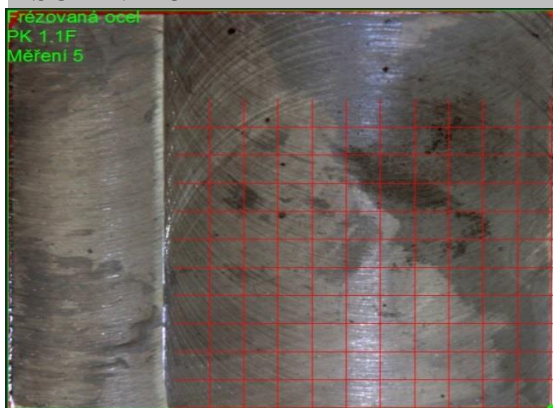
Na vzorku ulpělo: 78,50 % PK

ESOK 1.1F 3

Na vzorku ulpělo: 65,00 % PK

ESOK 1.1F 4

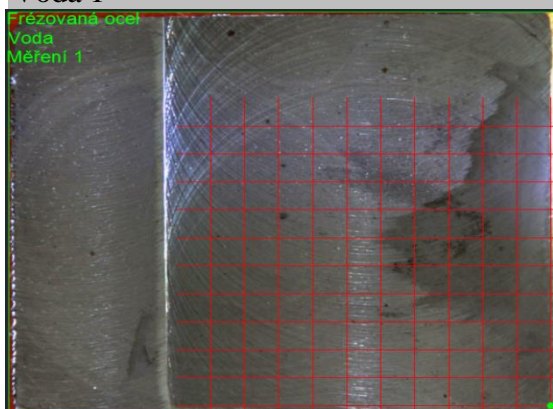
Na vzorku ulpělo: 76,50 % PK

ESOK 1.1F 5

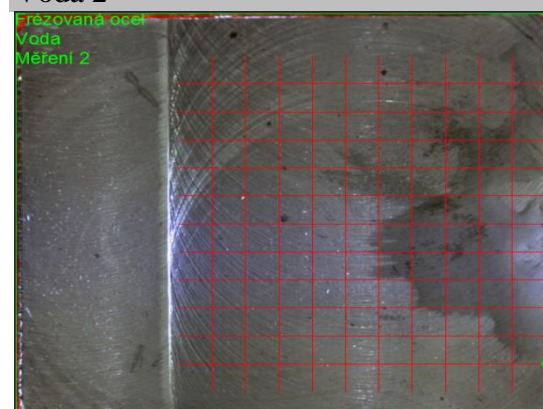
Na vzorku ulpělo: 38,00 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1F

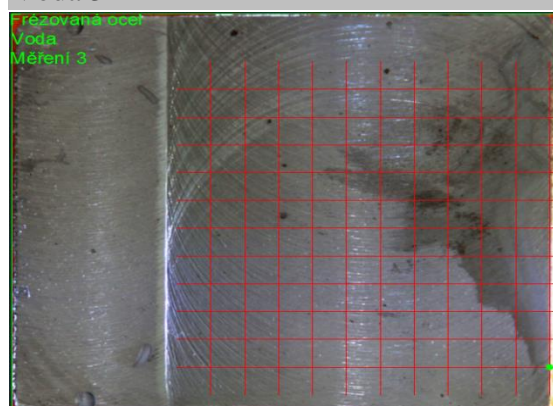
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1F 1	58,50
ESOK 1.1F 2	78,50
ESOK 1.1F 3	65,00
ESOK 1.1F 4	76,50
ESOK 1.1F 5	38,00

Voda**Voda 1**

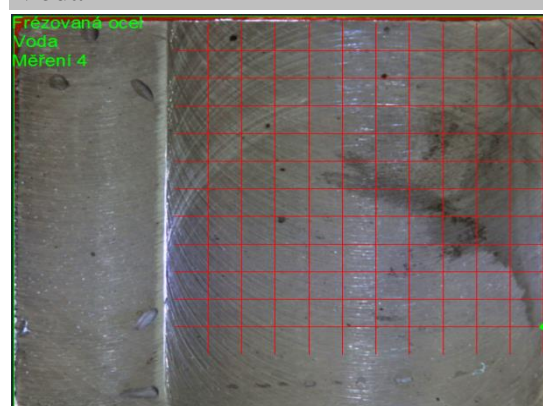
Na vzorku ulpělo: 27,75 % PK

Voda 2

Na vzorku ulpělo: 27,25 % PK

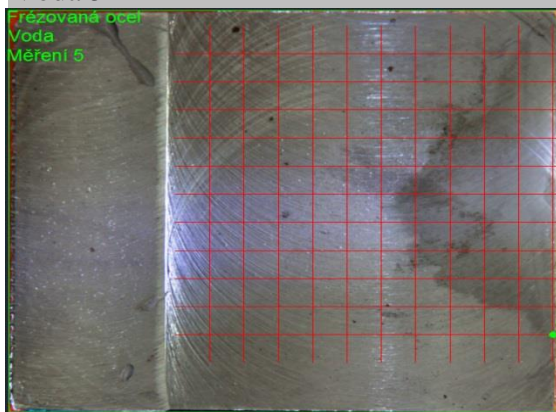
Voda 3

Na vzorku ulpělo: 19,25 % PK

Voda 4

Na vzorku ulpělo: 14,50 % PK

Voda 5

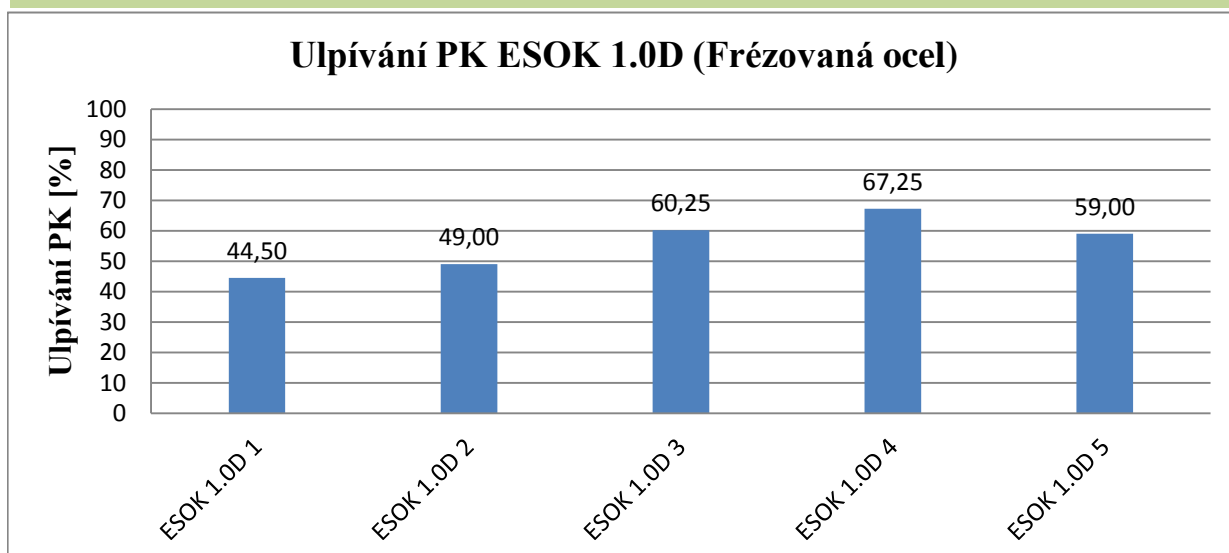


Na vzorku ulpělo: 29,25 % PK

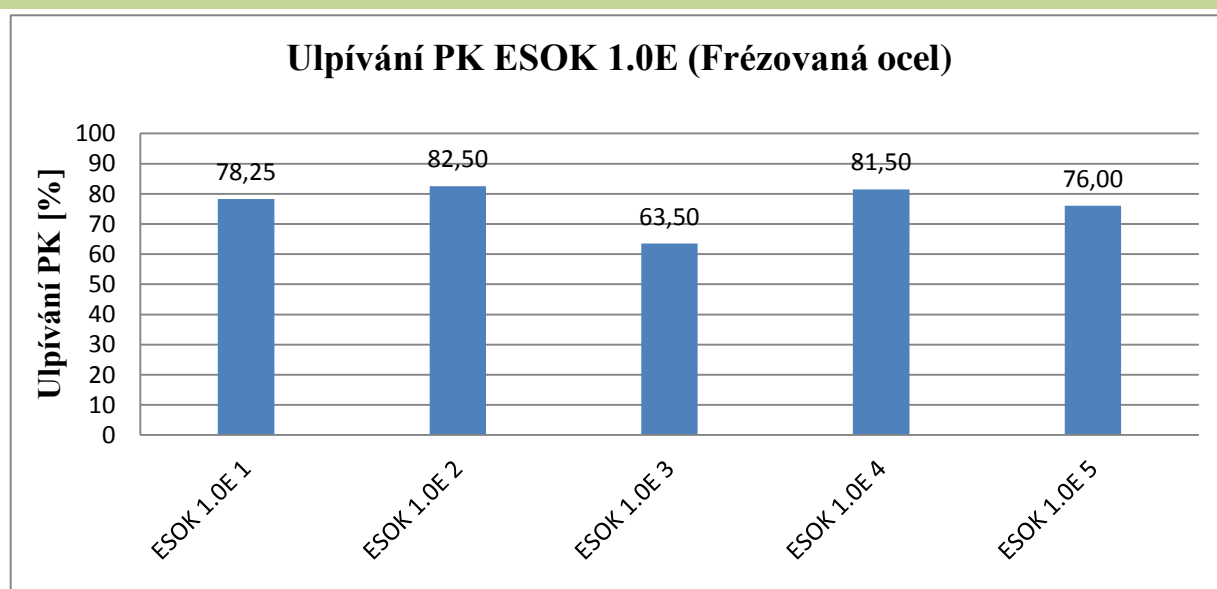
Tabulka naměřených hodnot Voda

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
Voda 1	27,75
Voda 2	27,25
Voda 3	19,25
Voda 4	14,50
Voda 5	29,25

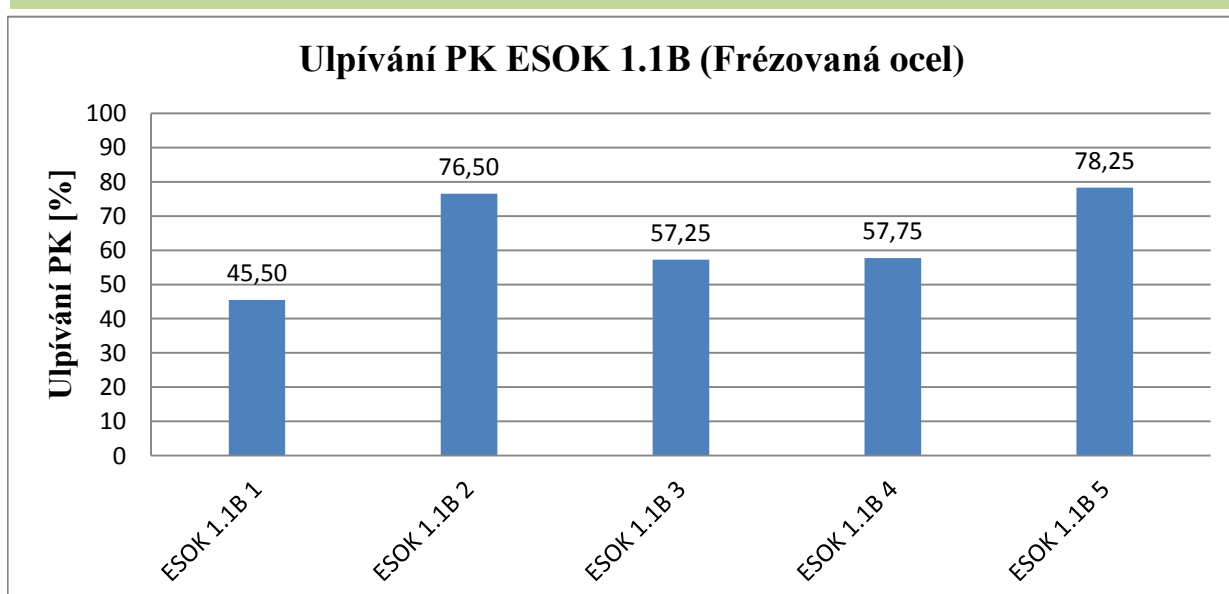
Graf ESOK 1.0D



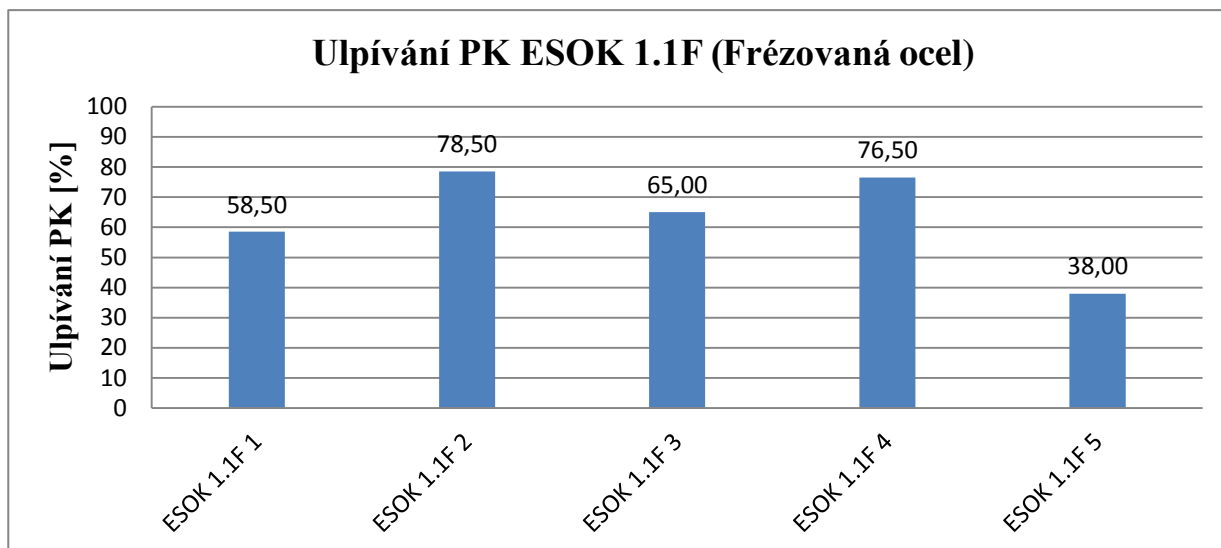
Graf ESOK 1.0E



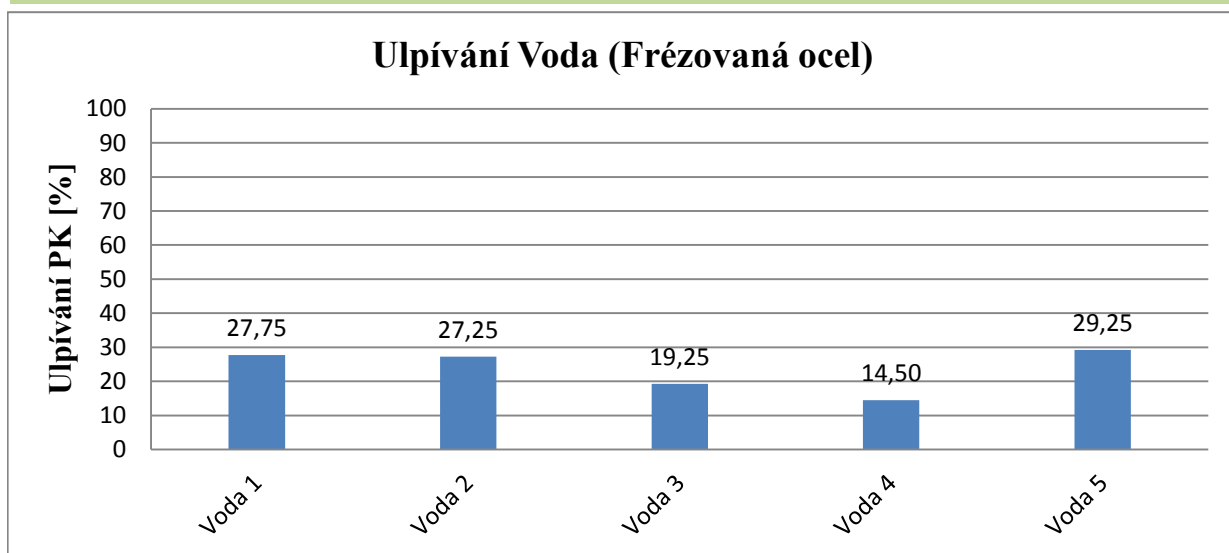
Graf ESOK 1.1B



Graf ESOK 1.1F



Graf Voda



Ulpívání procesní kapaliny

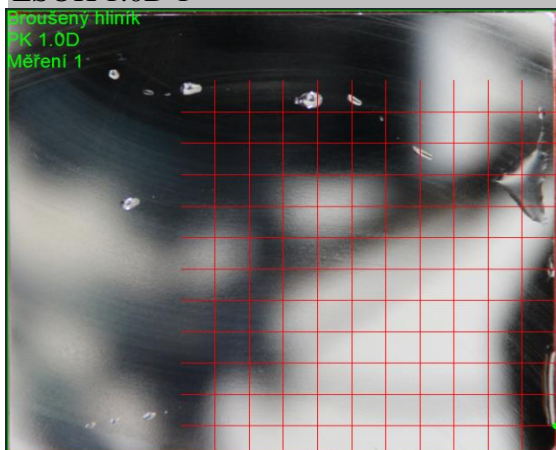
Datum měření 24.5.2014

Měření provedl: T. Bogdashkin

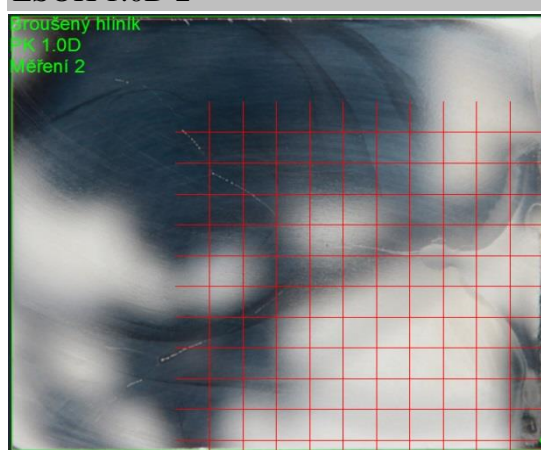
- procesní kapaliny: ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1F, ESOK 1.1B, Voda
- technologie obábění: Broušení

Zkušební vzorek

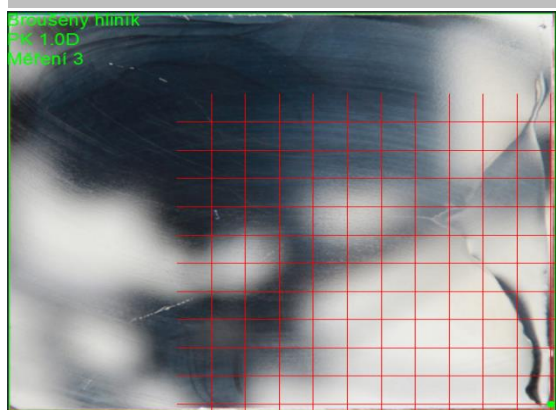
rozměry zkušebního vzorku	80 x 70 x 10
materiál vzorku	ČSN 42 4254
drsnost povrchu vzorku Ra	0,2 μm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
úhel natočení vzorku	90°
výdrž v natočené poloze	8 sec
doba ustavení kapaliny po natočení zpět do vodorovné polohy	3 min

ESOK 1.0D**ESOK 1.0D 1**

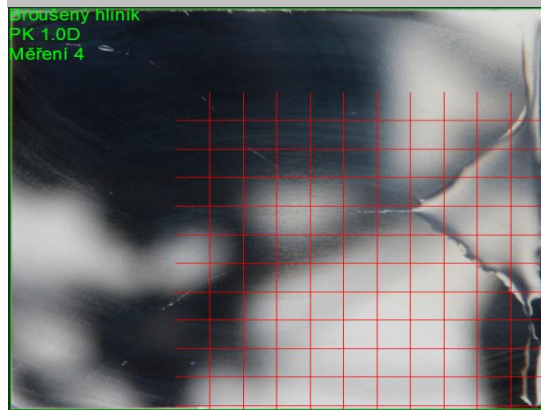
Na vzorku ulpělo: 2,75 % PK

ESOK 1.0D 2

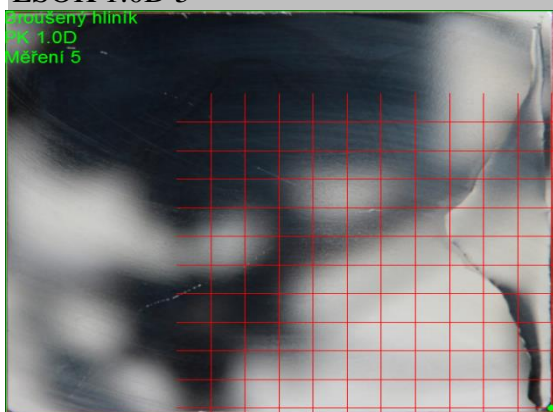
Na vzorku ulpělo: 10,00 % PK

ESOK 1.0D 3

Na vzorku ulpělo: 12,25 % PK

ESOK 1.0D 4

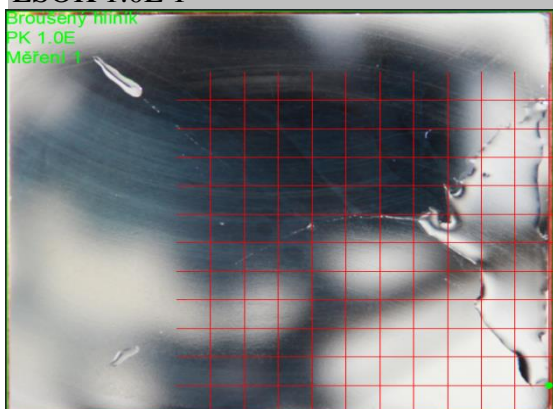
Na vzorku ulpělo: 15,75 % PK

ESOK 1.0D 5

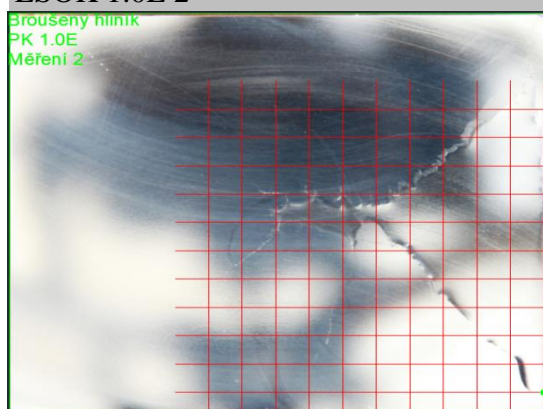
Na vzorku ulpělo: 17,25 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0D

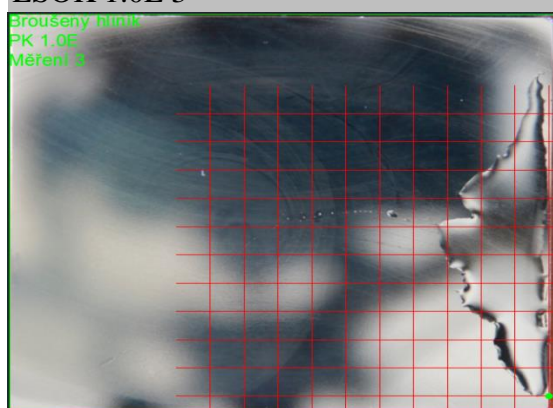
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0D 1	2,75
ESOK 1.0D 2	10,00
ESOK 1.0D 3	12,25
ESOK 1.0D 4	15,75
ESOK 1.0D 5	17,25

ESOK 1.0E**ESOK 1.0E 1**

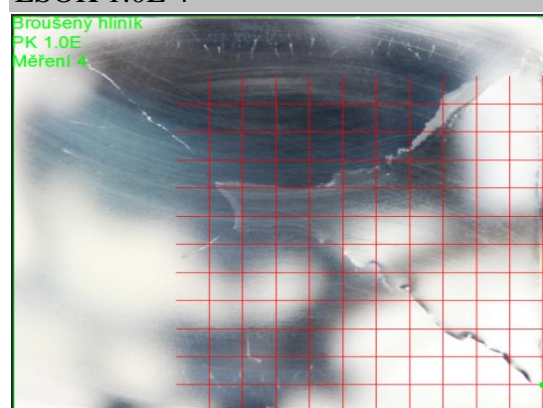
Na vzorku ulpělo: 18,25 % PK

ESOK 1.0E 2

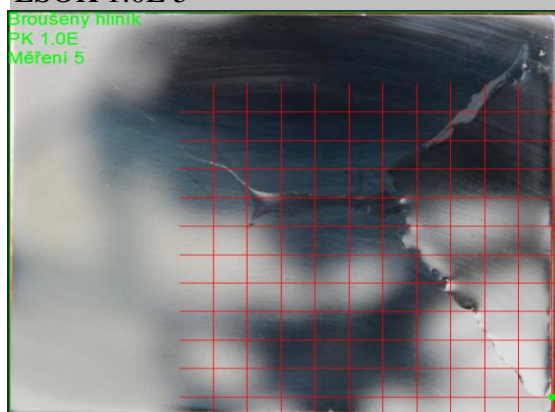
Na vzorku ulpělo: 30,25 % PK

ESOK 1.0E 3

Na vzorku ulpělo: 19,25 % PK

ESOK 1.0E 4

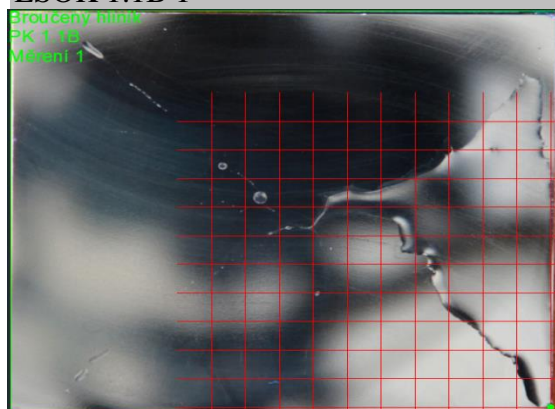
Na vzorku ulpělo: 45,75 % PK

ESOK 1.0E 5

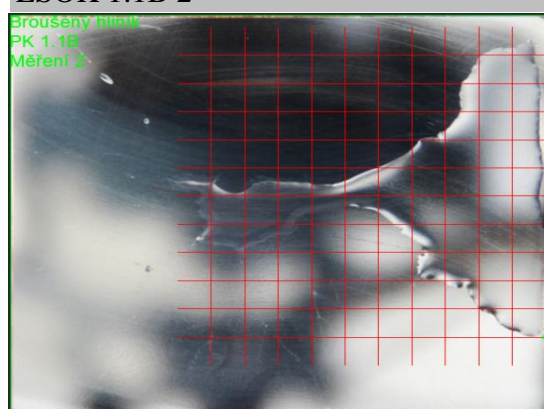
Na vzorku ulpělo: 33,50 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0E

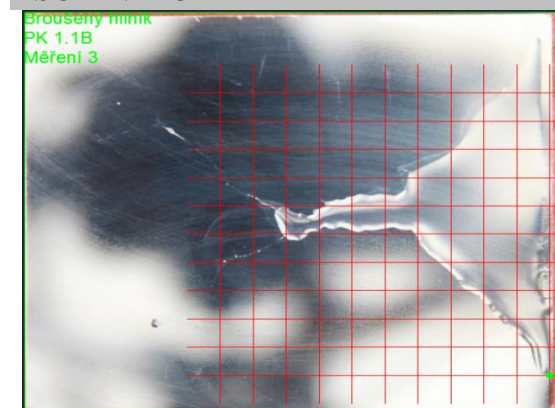
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0E 1	18,25
ESOK 1.0E 2	30,25
ESOK 1.0E 3	19,25
ESOK 1.0E 4	45,75
ESOK 1.0E 5	33,50

ESOK 1.1B**ESOK 1.1B 1**

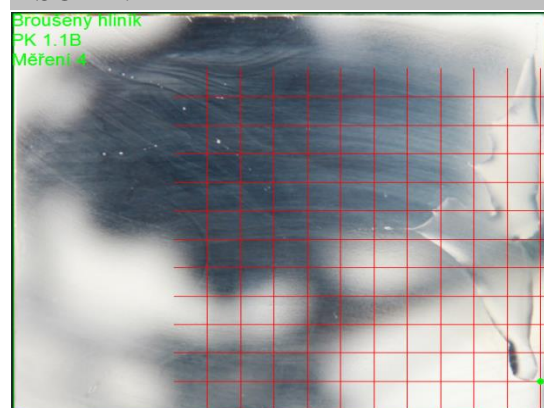
Na vzorku ulpělo: 30,75 % PK

ESOK 1.1B 2

Na vzorku ulpělo: 39,50 % PK

ESOK 1.1B 3

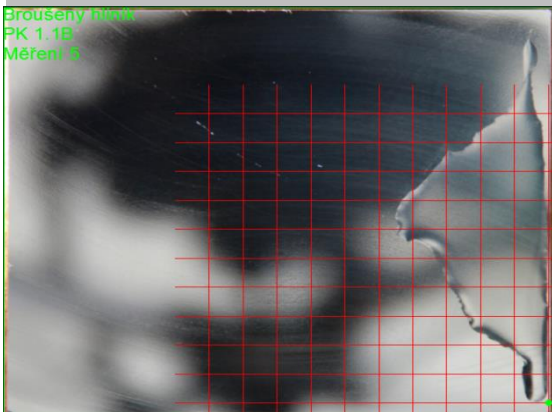
Na vzorku ulpělo: 29,25 % PK

ESOK 1.1B 4

Na vzorku ulpělo: 16,75 % PK

ESOK 1.1B 5

Broušený hliník
PK 1.1B
Měření 5



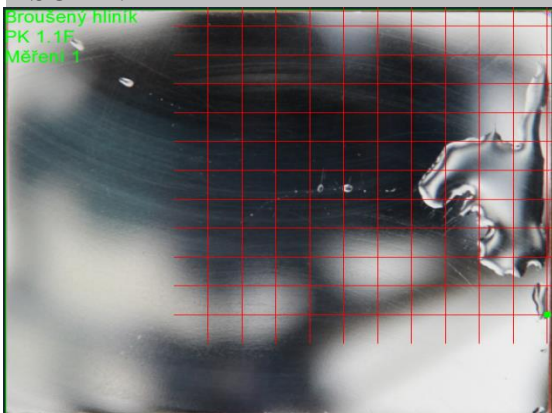
Na vzorku ulpělo: 25,00 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1B

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1B 1	30,75
ESOK 1.1B 2	39,50
ESOK 1.1B 3	29,25
ESOK 1.1B 4	16,75
ESOK 1.1B 5	25,00

ESOK 1.1F**ESOK 1.1F 1**

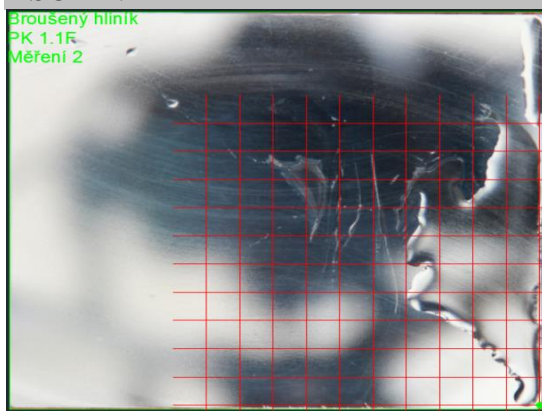
Broušený hliník
PK 1.1F
Měření 1



Na vzorku ulpělo: 13,25 % PK

ESOK 1.1F 2

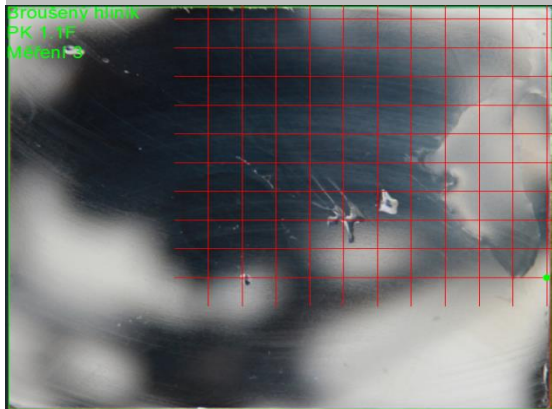
Broušený hliník
PK 1.1F
Měření 2



Na vzorku ulpělo: 26,50 % PK

ESOK 1.1F 3

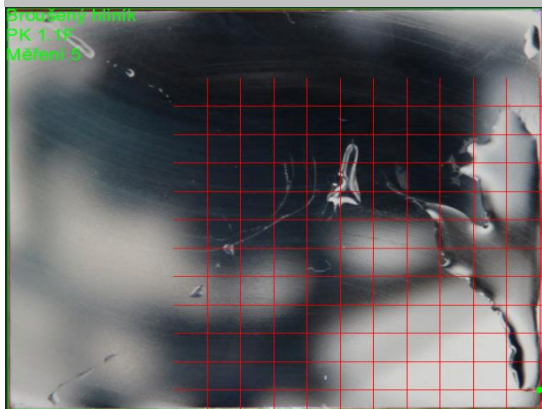
Broušený hliník
PK 1.1F
Měření 3



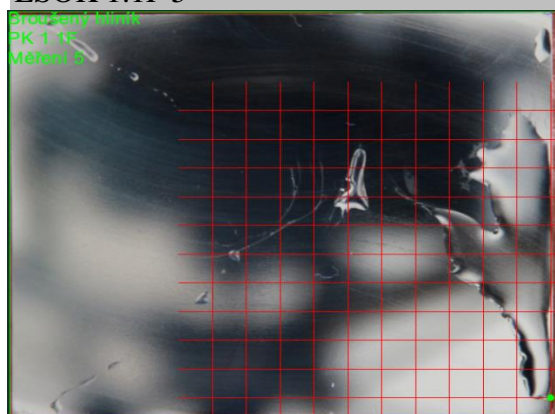
Na vzorku ulpělo: 14,75 % PK

ESOK 1.1F 4

Broušený hliník
PK 1.1F
Měření 4



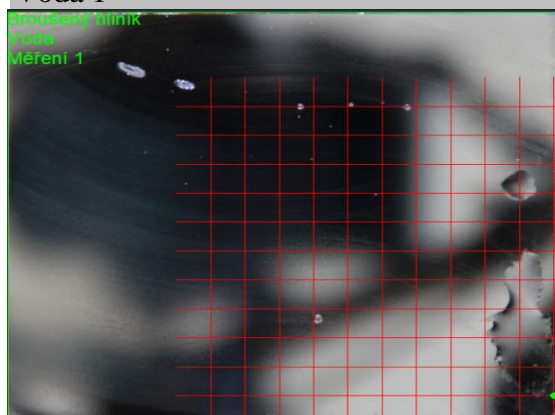
Na vzorku ulpělo: 22,75 % PK

ESOK 1.1F 5

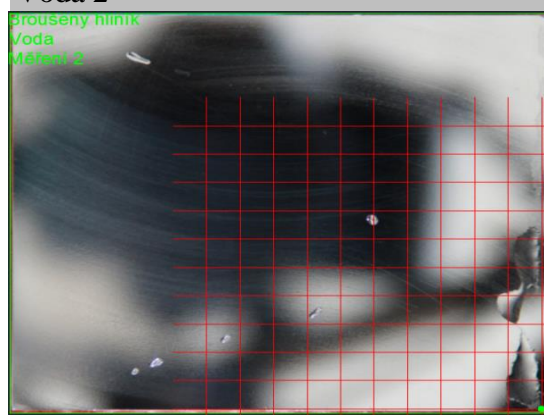
Na vzorku ulpělo: 18,75 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1F

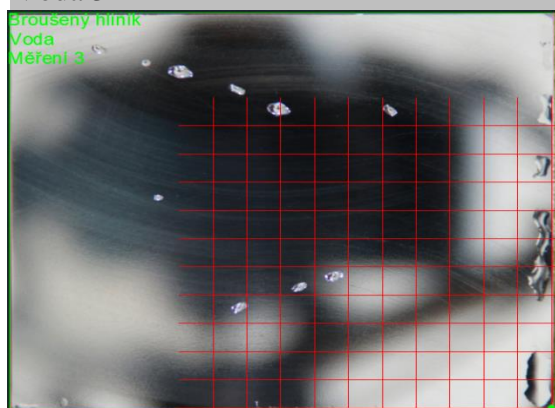
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1F 1	13,25
ESOK 1.1F 2	26,50
ESOK 1.1F 3	14,75
ESOK 1.1F 4	22,75
ESOK 1.1F 5	18,75

Voda**Voda 1**

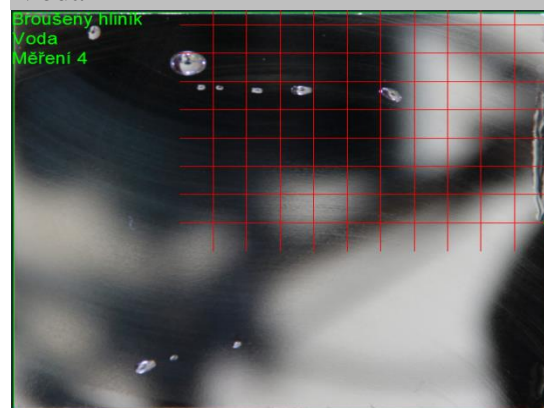
Na vzorku ulpělo: 7,00 % PK

Voda 2

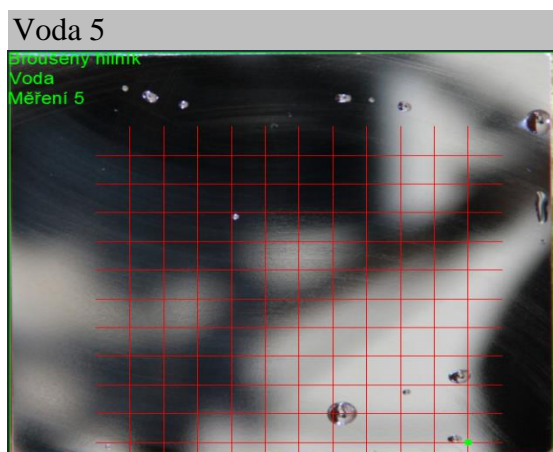
Na vzorku ulpělo: 3,75 % PK

Voda 3

Na vzorku ulpělo: 3,00 % PK

Voda 4

Na vzorku ulpělo: 1,50 % PK

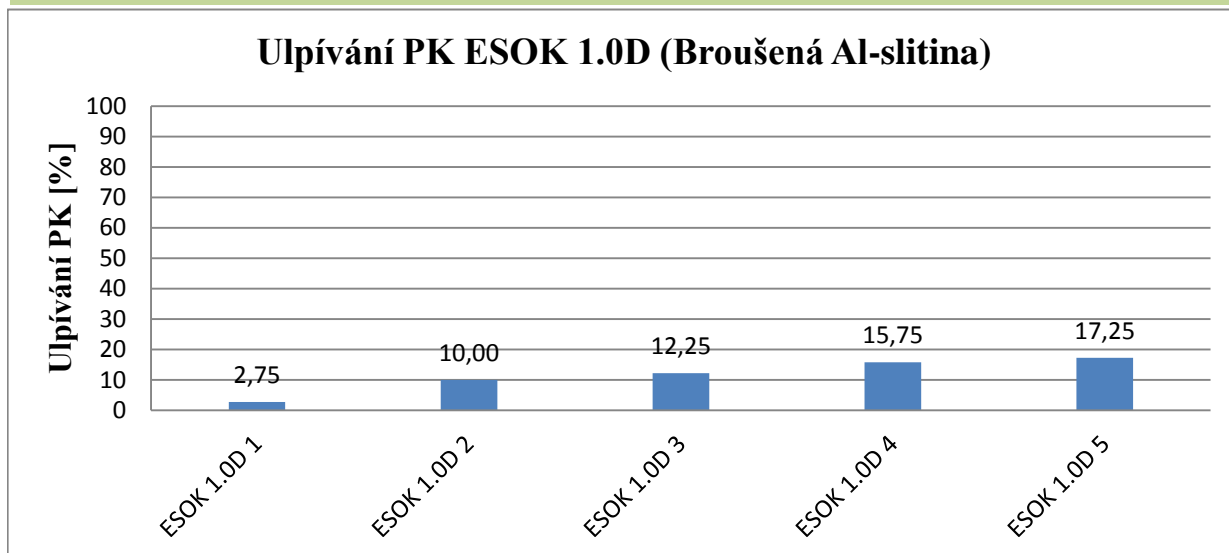


Na vzorku ulpělo: 1,00 % PK

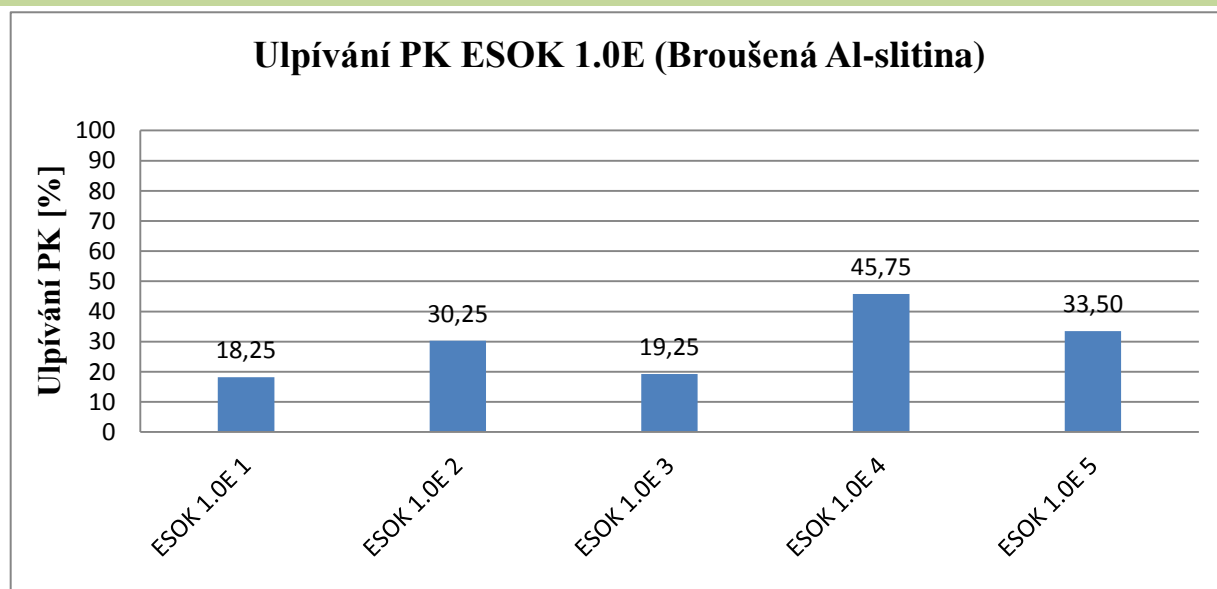
Tabulka naměřených hodnot Voda

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
Voda 1	7,00
Voda 2	3,75
Voda 3	3,00
Voda 4	1,50
Voda 5	1,00

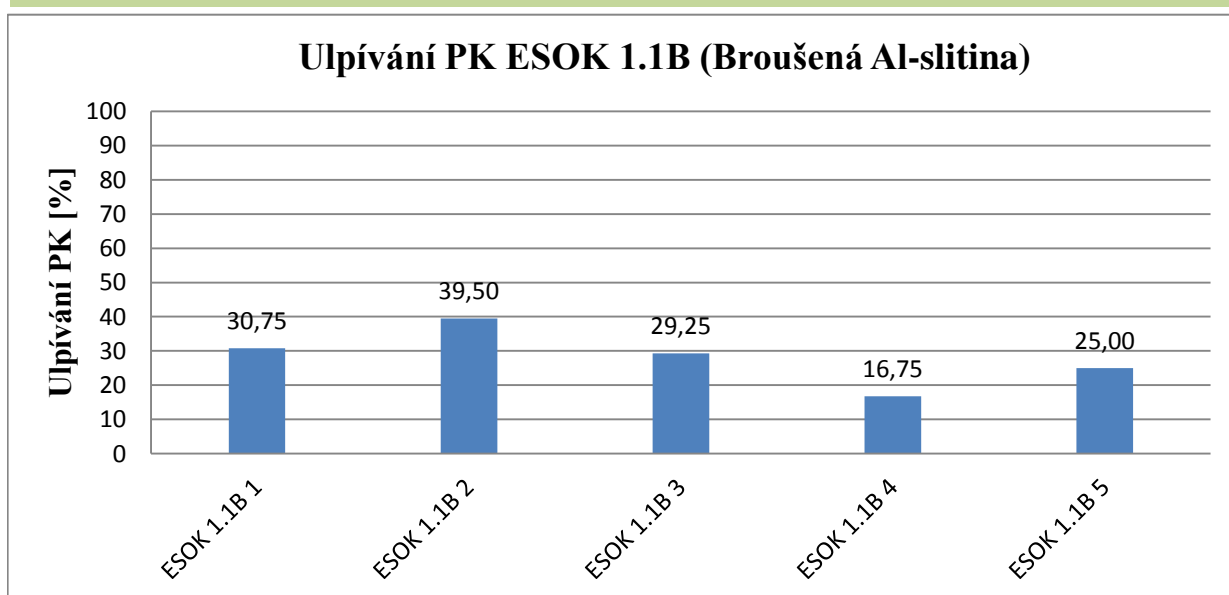
Graf ESOK 1.0D



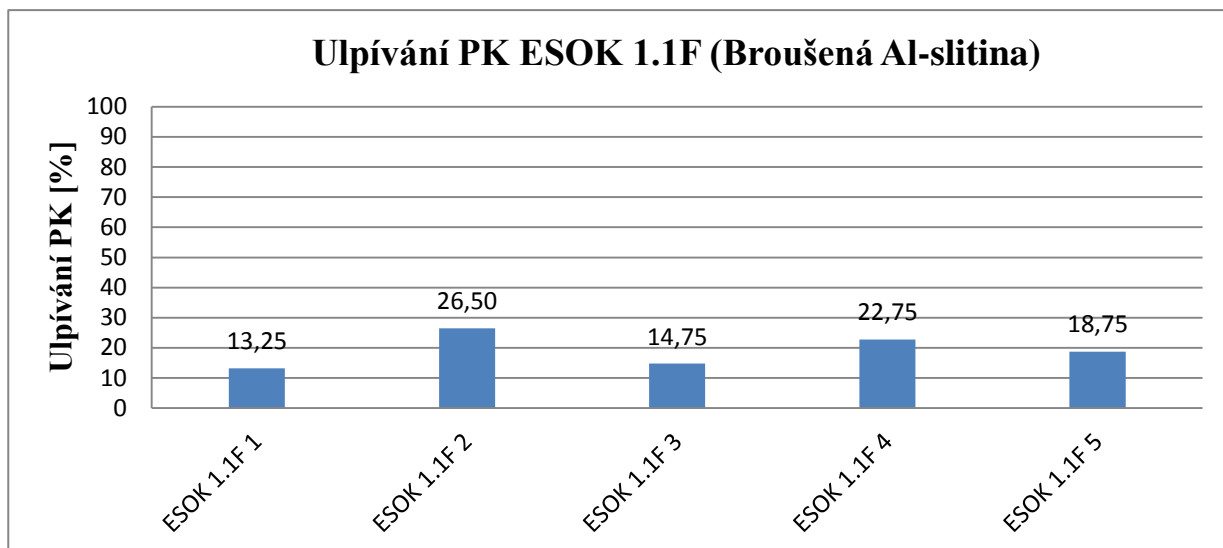
Graf ESOK 1.0E



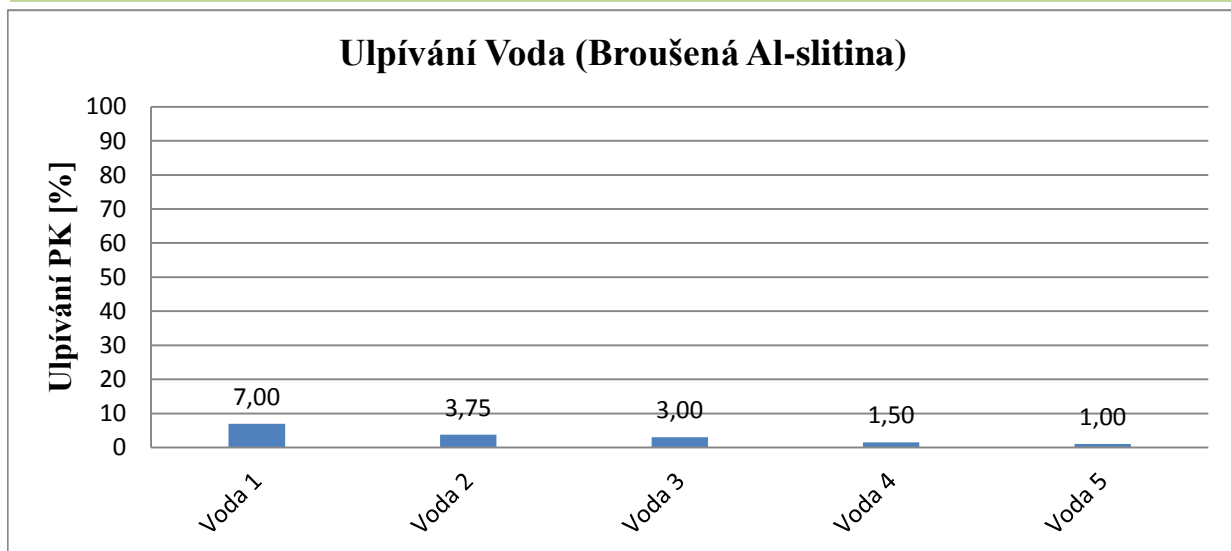
Graf ESOK 1.1B



Graf ESOK 1.1F



Graf Voda



Ulpívání procesní kapaliny

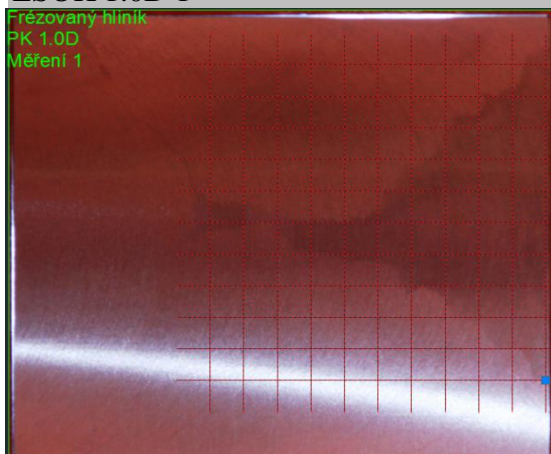
Datum měření 24.5.2014

Měření provedl: T. Bogdashkin

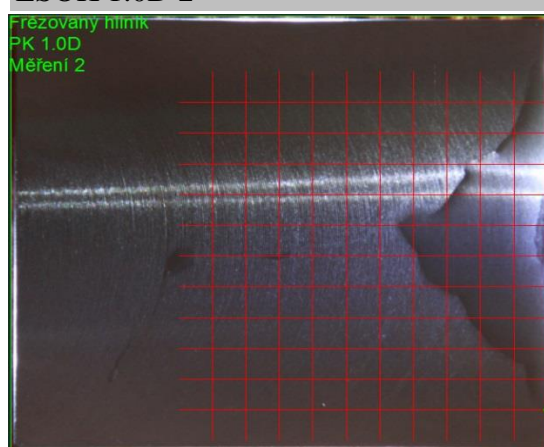
- procesní kapaliny: ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.1F, ESOK 1.1B, Voda
- technologie obábění: Frézování

Zkušební vzorek

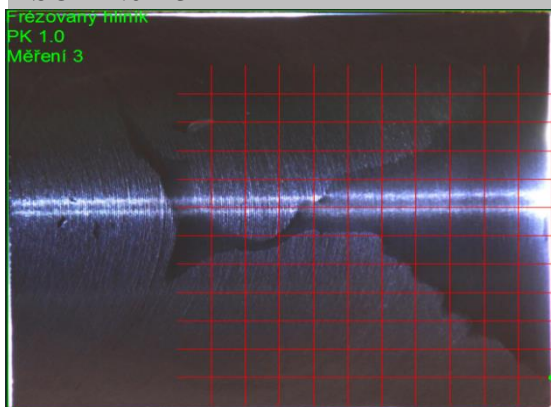
rozměry zkušebního vzorku	80 x 70 x 10
materiál vzorku	ČSN 42 4254
drsnost povrchu vzorku Ra	2,5 µm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny	5%
úhel natočení vzorku	90°
výdrž v natočené poloze	8 sec
doba ustavení kapaliny po natočení zpět do vodorovné polohy	3 min

ESOK 1.0D**ESOK 1.0D 1**

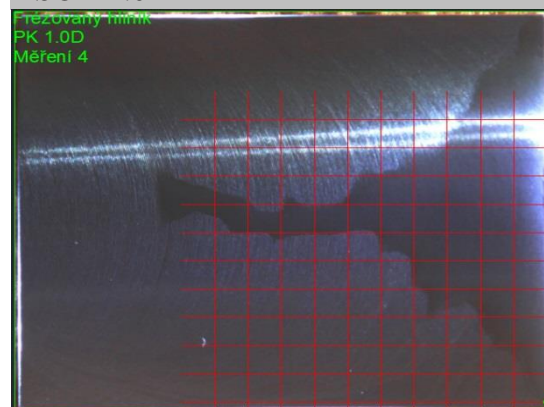
Na vzorku ulpělo: 33,50 % PK

ESOK 1.0D 2

Na vzorku ulpělo: 21,75 % PK

ESOK 1.0D 3

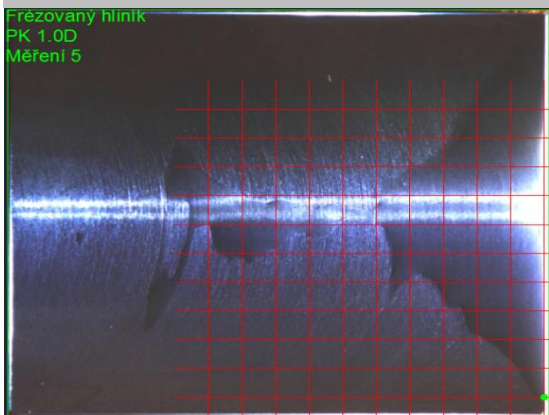
Na vzorku ulpělo: 41,00 % PK

ESOK 1.0D 4

Na vzorku ulpělo: 38,00 % PK

ESOK 1.0D 5

Frezovaný hliník
PK 1.0D
Měření 5



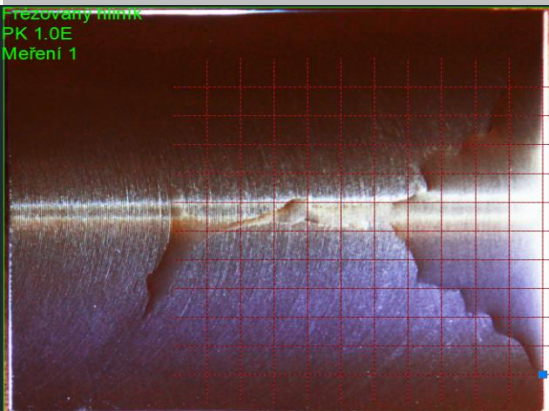
Na vzorku ulpělo: 37,75 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0D

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0D 1	33,50
ESOK 1.0D 2	21,75
ESOK 1.0D 3	41,00
ESOK 1.0D 4	38,00
ESOK 1.0D 5	37,75

ESOK 1.0E**ESOK 1.0E 1**

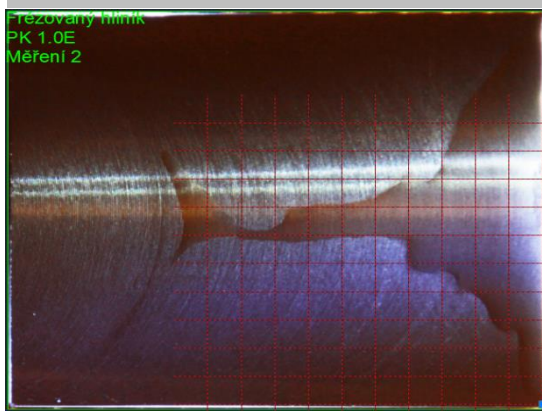
Frezovaný hliník
PK 1.0E
Měření 1



Na vzorku ulpělo: 29,50 % PK

ESOK 1.0E 2

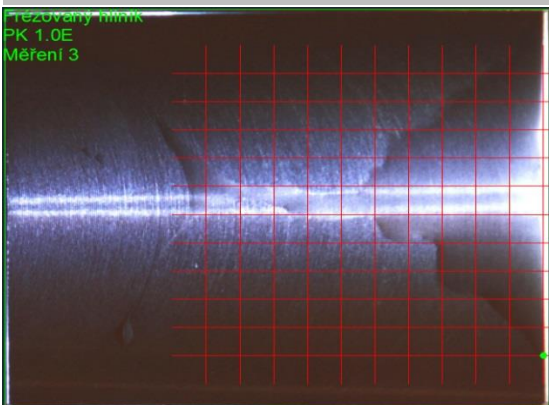
Frezovaný hliník
PK 1.0E
Měření 2



Na vzorku ulpělo: 31,00 % PK

ESOK 1.0E 3

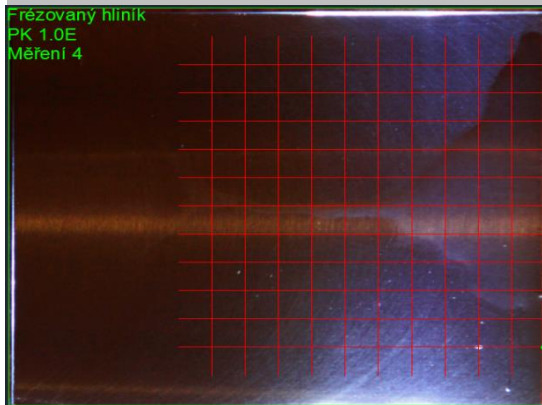
Frezovaný hliník
PK 1.0E
Měření 3



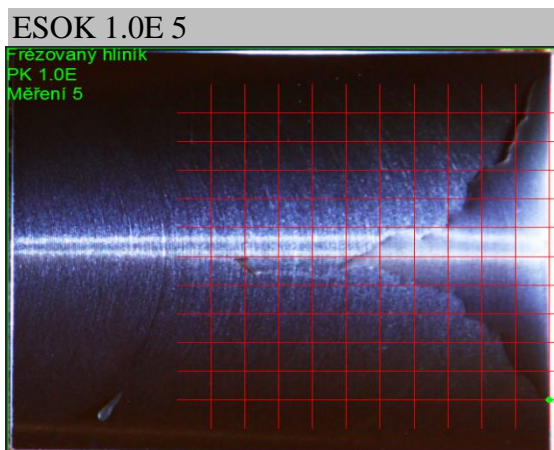
Na vzorku ulpělo: 36,25 % PK

ESOK 1.0E 4

Frezovaný hliník
PK 1.0E
Měření 4



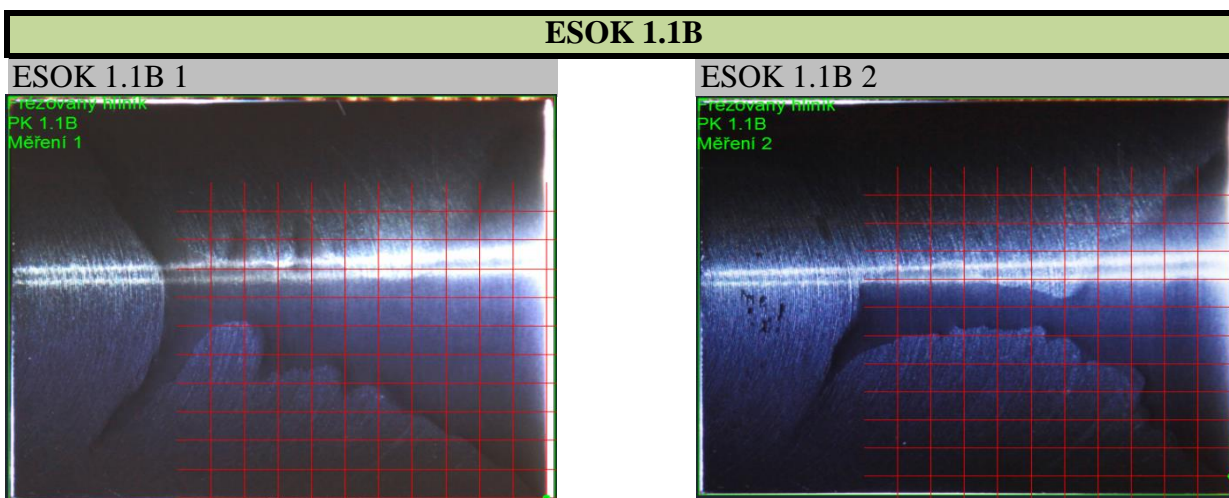
Na vzorku ulpělo: 27,25 % PK



Na vzorku ulpělo: 22,75 % PK

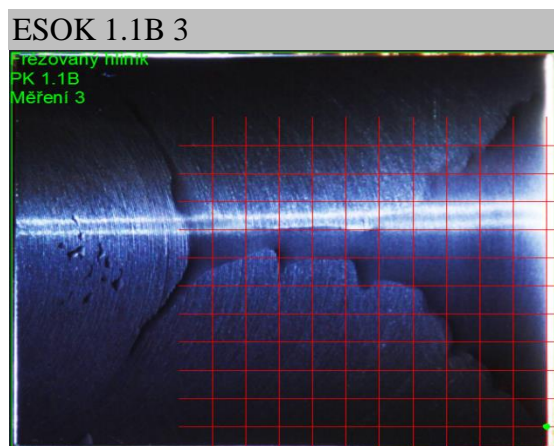
Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.0E

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.0E 1	29,50
ESOK 1.0E 2	31,00
ESOK 1.0E 3	36,25
ESOK 1.0E 4	27,25
ESOK 1.0E 5	22,75

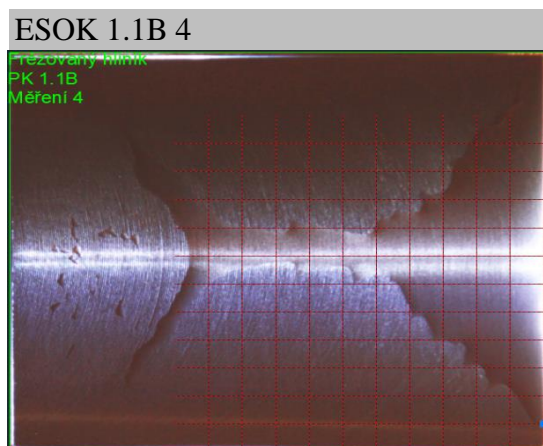


Na vzorku ulpělo: 53,75 %PK

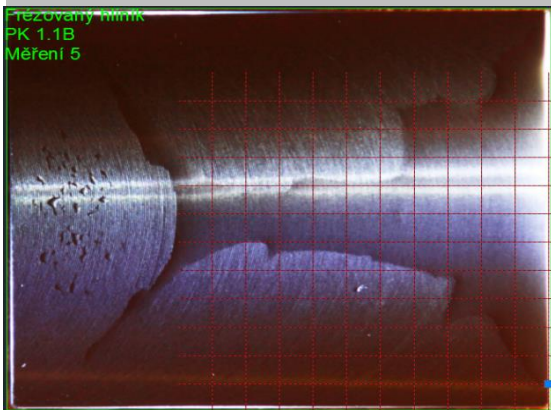
Na vzorku ulpělo: 41,00 % PK



Na vzorku ulpělo: 37,25 % PK



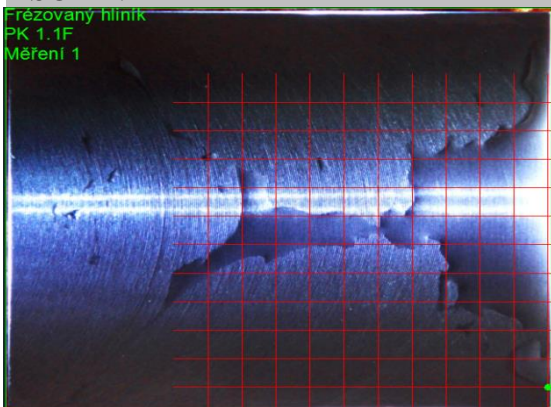
Na vzorku ulpělo: 39,25 % PK

ESOK 1.1B 5Frézovaný hliník
PK 1.1B
Měření 5

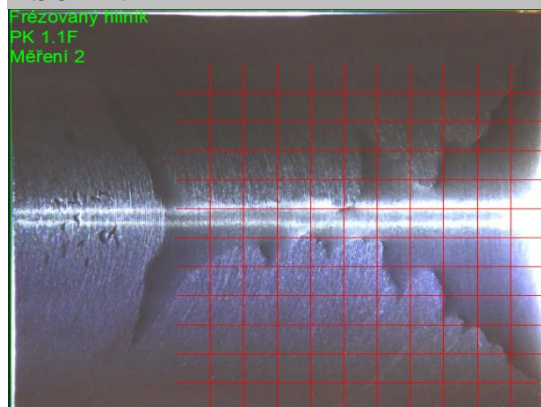
Na vzorku ulpělo: 46,75 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1B

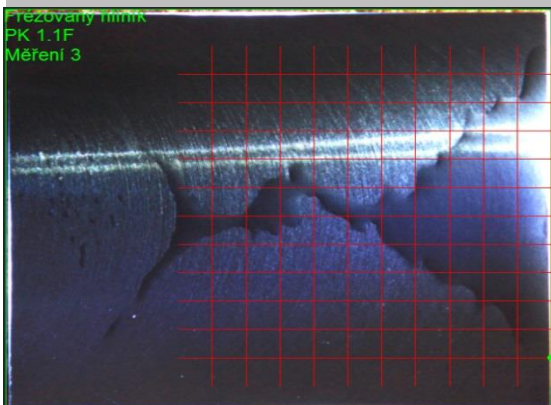
Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1B 1	53,75
ESOK 1.1B 2	41,00
ESOK 1.1B 3	37,25
ESOK 1.1B 4	39,25
ESOK 1.1B 5	46,75

ESOK 1.1F**ESOK 1.1F 1**Frézovaný hliník
PK 1.1F
Měření 1

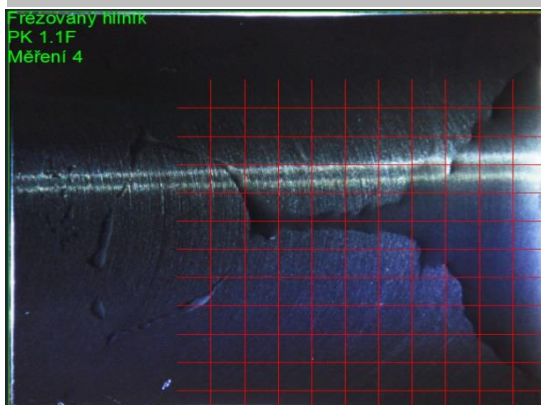
Na vzorku ulpělo: 31,75 %PK

ESOK 1.1F 2Frézovaný hliník
PK 1.1F
Měření 2

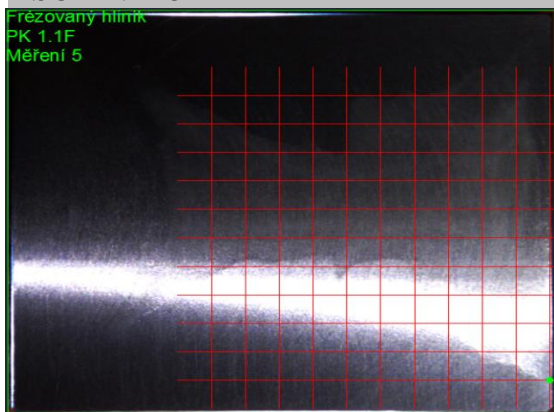
Na vzorku ulpělo: 39,00 % PK

ESOK 1.1F 3Frézovaný hliník
PK 1.1F
Měření 3

Na vzorku ulpělo: 34,50 % PK

ESOK 1.1F 4Frézovaný hliník
PK 1.1F
Měření 4

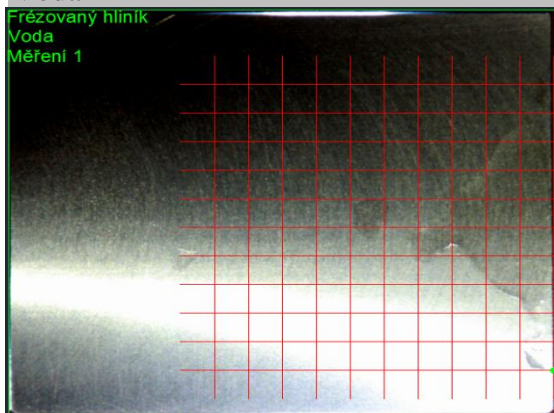
Na vzorku ulpělo: 31,50 % PK

ESOK 1.1F 5Frézovaný hliník
PK 1.1F
Měření 5

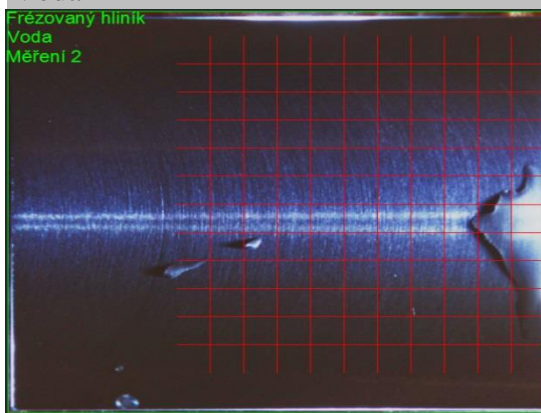
Na vzorku ulpělo: 62,75 % PK

Tabulka naměřených hodnot ESOK 1.1F

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
ESOK 1.1F 1	31,75
ESOK 1.1F 2	39,00
ESOK 1.1F 3	34,50
ESOK 1.1F 4	31,50
ESOK 1.1F 5	62,75

Voda**Voda 1**Frézovaný hliník
Voda
Měření 1

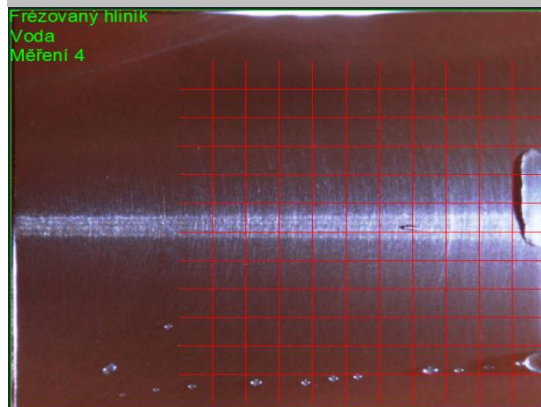
Na vzorku ulpělo: 16,75 % PK

Voda 2Frézovaný hliník
Voda
Měření 2

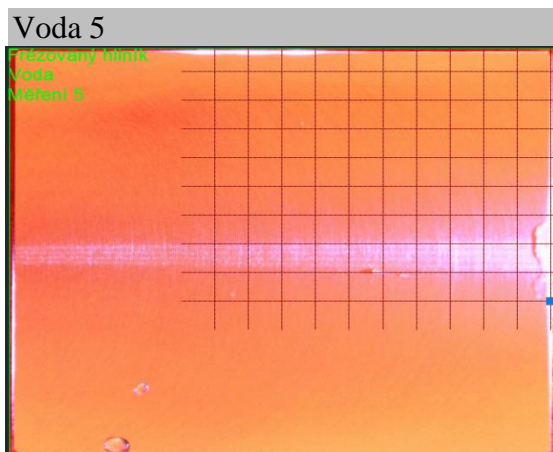
Na vzorku ulpělo: 7,25 % PK

Voda 3Frézovaný hliník
Voda
Měření 3

Na vzorku ulpělo: 4,75 % PK

Voda 4Frézovaný hliník
Voda
Měření 4

Na vzorku ulpělo: 3,00 % PK

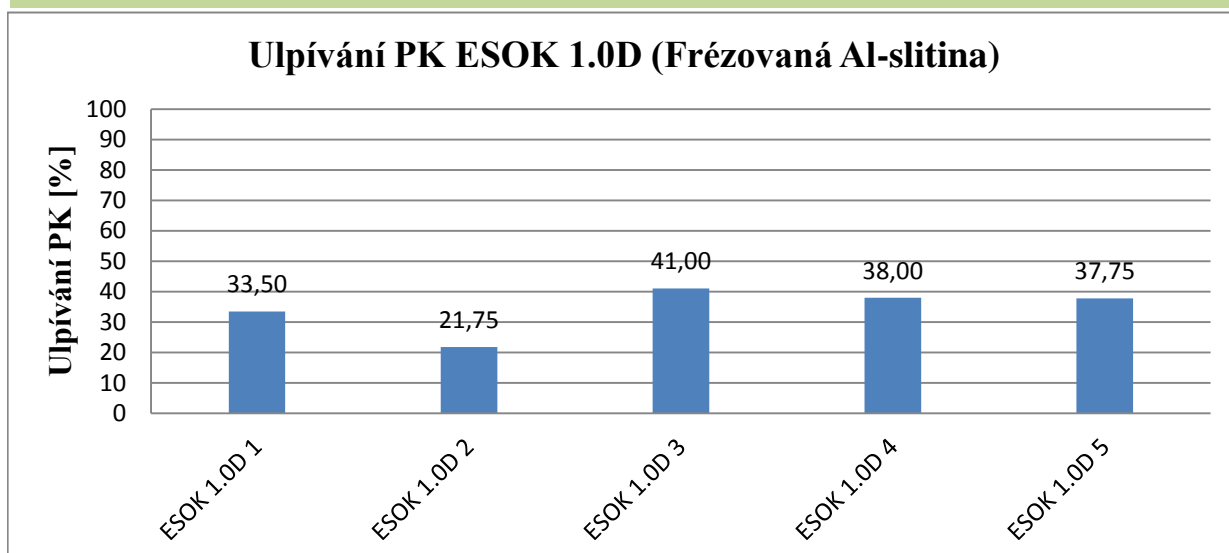


Na vzorku ulpělo: 1,00 % PK

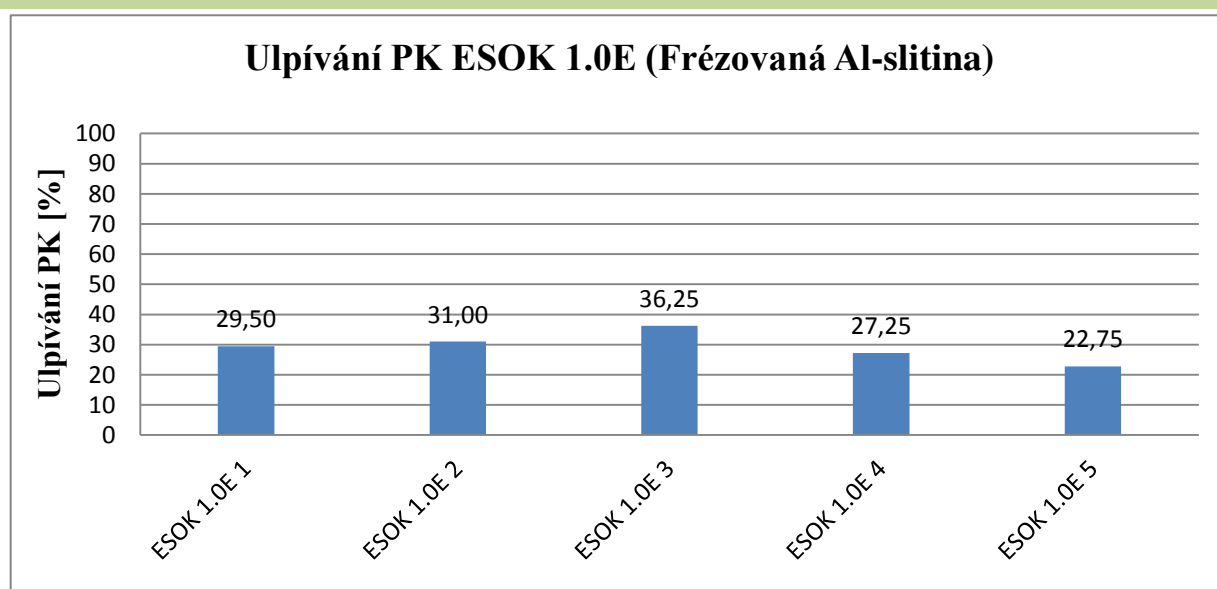
Tabulka naměřených hodnot Voda

Procesní kapalina	Ulpívání PK [%]
Voda 1	16,75
Voda 2	7,25
Voda 3	4,75
Voda 4	3,00
Voda 5	1,00

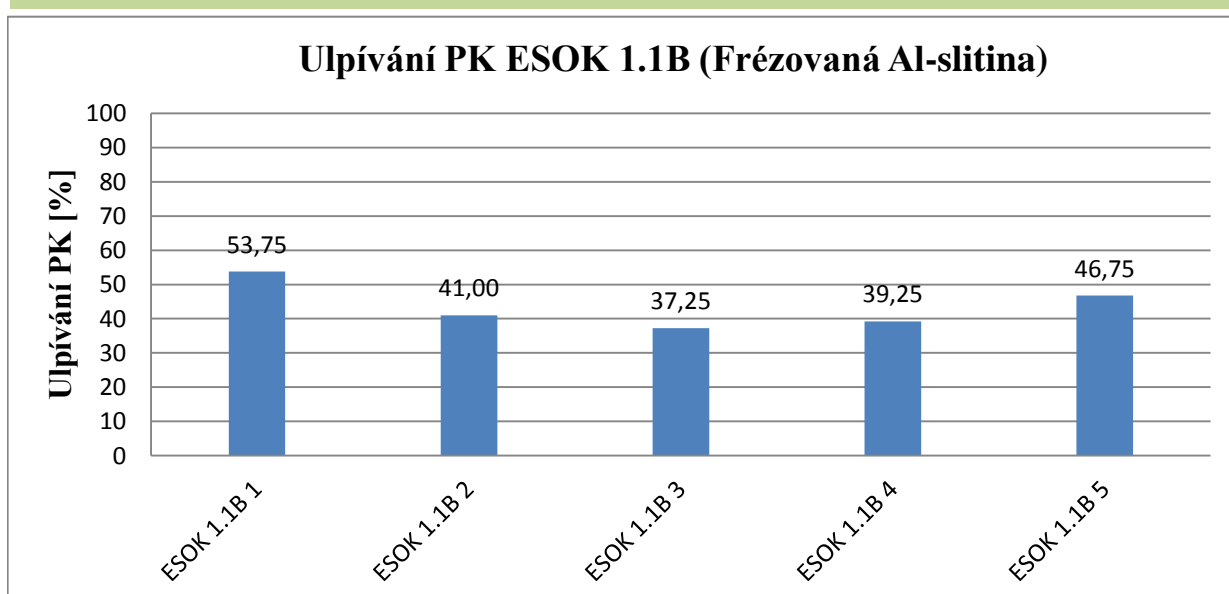
Graf ESOK 1.0D



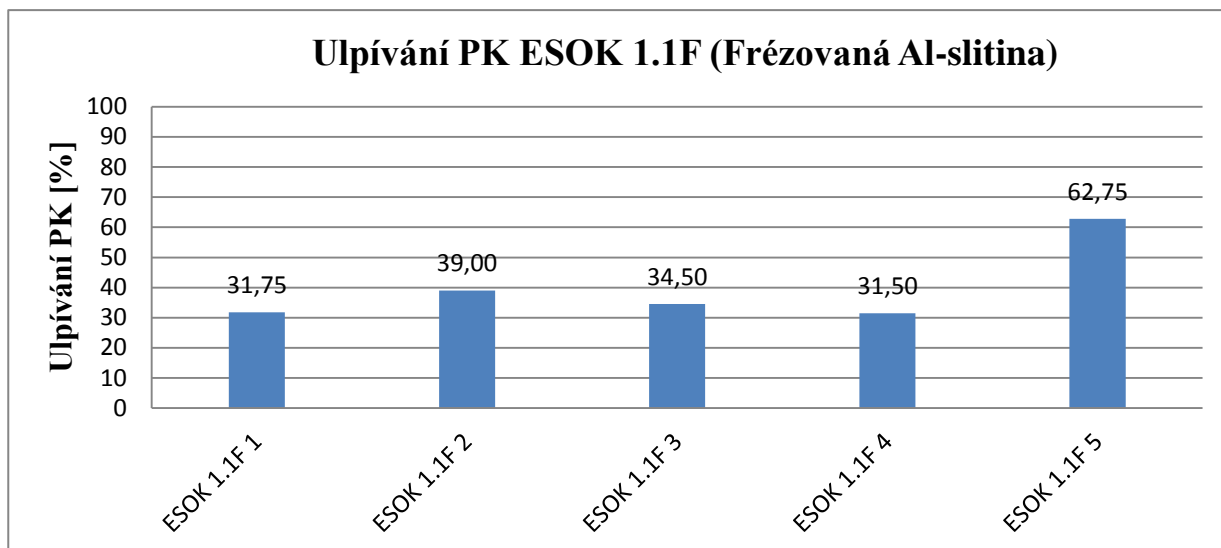
Graf ESOK 1.0E



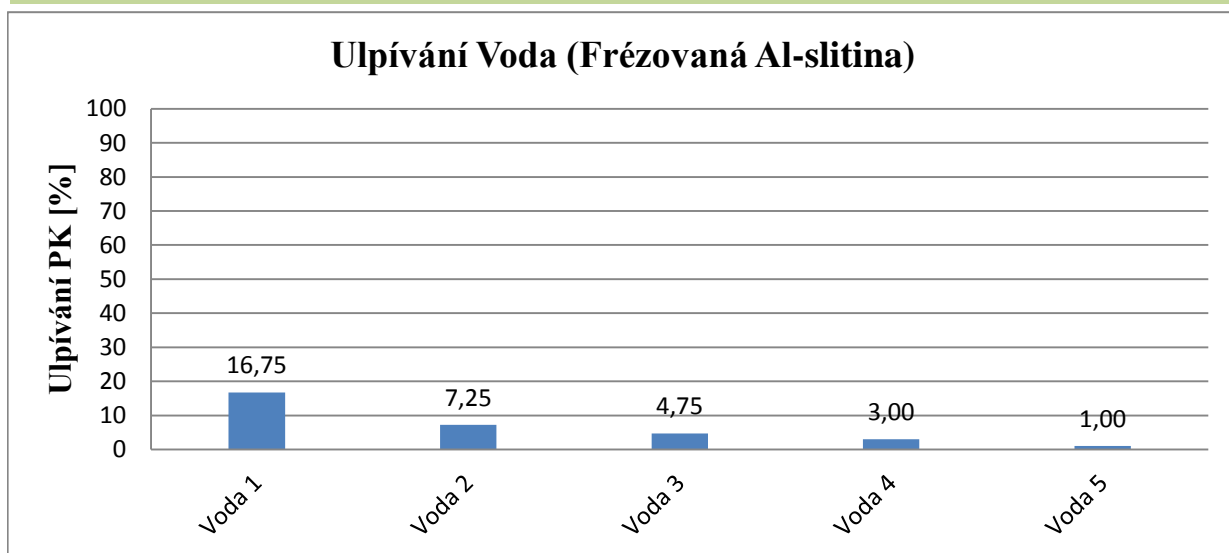
Graf ESOK 1.1B



Graf ESOK 1.1F



Graf Voda

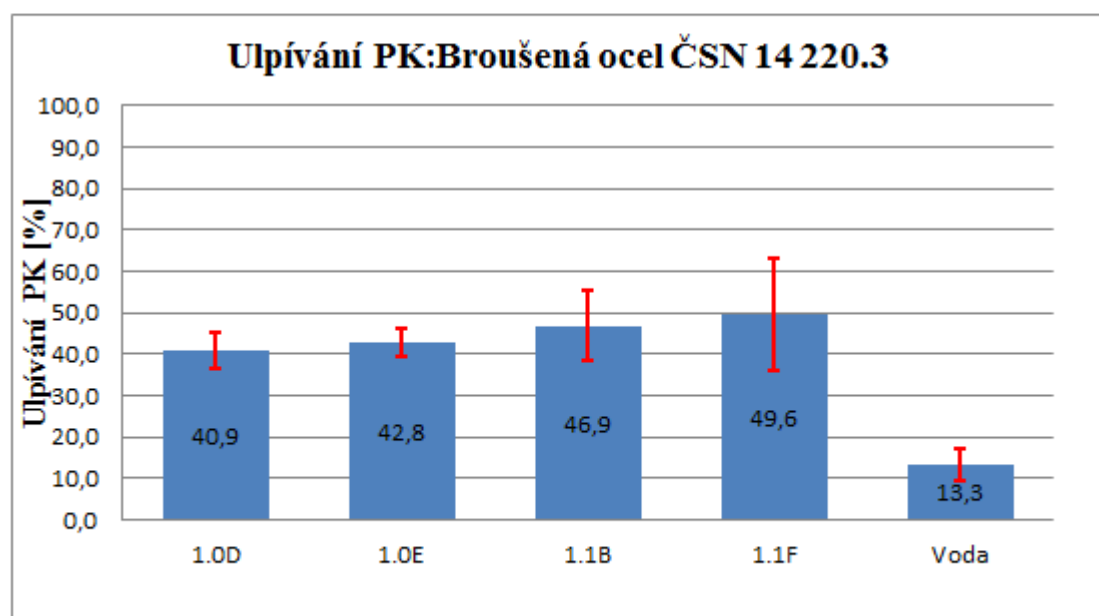


PŘÍLOHA 2

HODNOCENÍ ULPÍVÁNÍ PROCESNÍCH KAPALIN (STATISTICKÁ METODA)

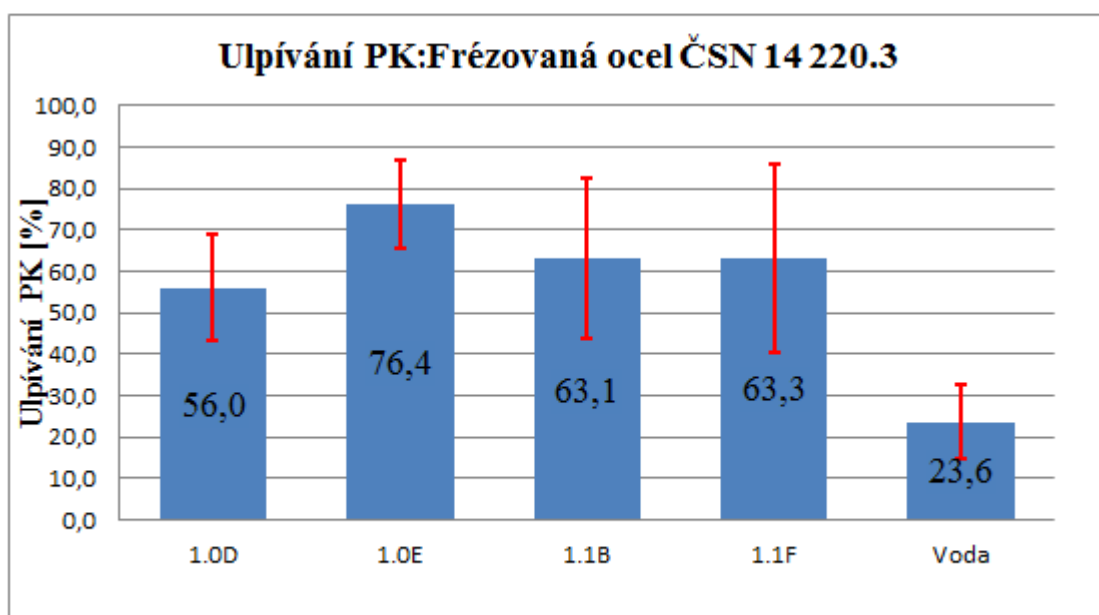
Broušená ocel ČSN 14 220.3

PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	38,00	37,50	42,50	41,25	45,00	40,9 ± 4,4
1.0E	41,00	41,25	41,25	43,25	47,00	42,8 ± 3,5
1.1B	55,25	47,75	38,25	44,75	48,25	46,9 ± 8,5
1.1F	41,00	45,00	60,75	41,25	59,75	49,6 ± 13,7
Voda	14,75	16,25	13,75	9,00	12,75	13,3 ± 3,8



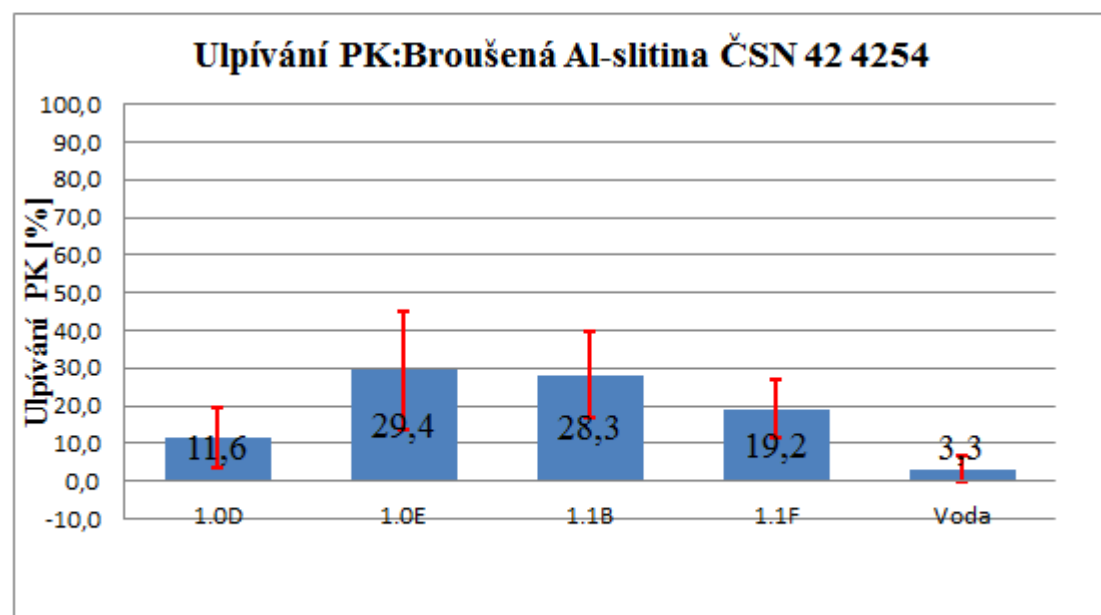
Frézovaná ocel ČSN 14 220.3

PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	44,50	49,00	60,25	67,25	59,00	56,0 ± 12,7
1.0E	78,25	82,50	63,50	81,50	76,00	76,4 ± 10,6
1.1B	45,50	76,50	57,25	57,75	78,25	63,1 ± 19,4
1.1F	58,50	78,50	65,00	76,50	38,00	63,3 ± 22,7
Voda	27,75	27,25	19,25	14,50	29,25	23,6 ± 8,9



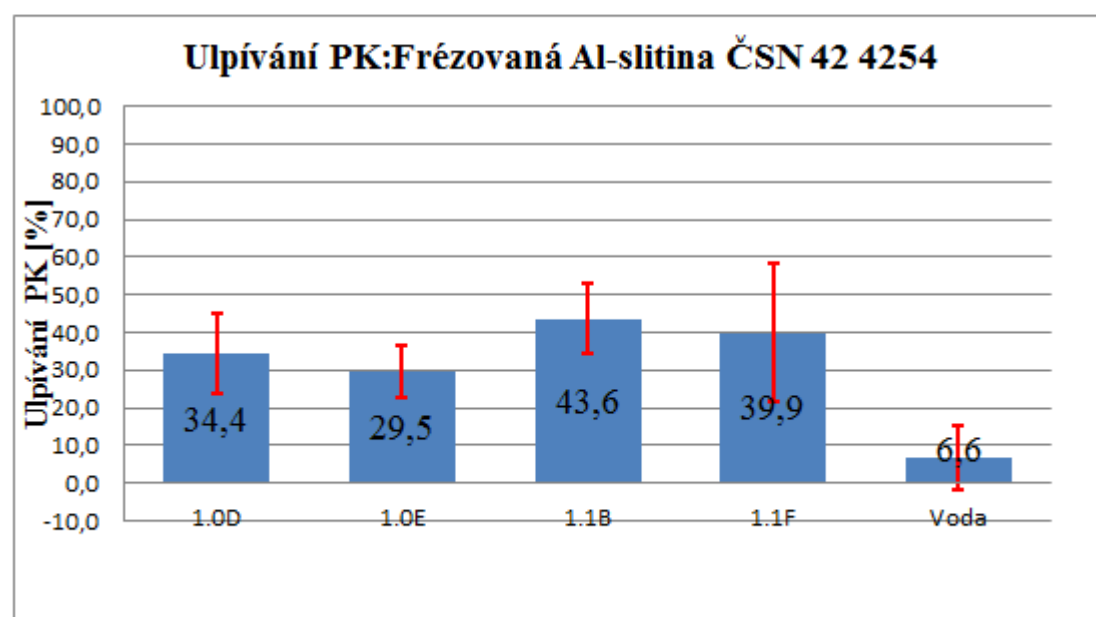
Broušená Al-slitina ČSN 42 4254

PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	2,75	10,00	12,25	15,75	17,25	11,6 ± 7,9
1.0E	18,25	30,25	19,25	45,75	33,50	29,4 ± 15,7
1.1B	30,75	39,50	29,25	16,75	25,00	28,3 ± 11,5
1.1F	13,25	26,50	14,75	22,75	18,75	19,2 ± 7,6
Voda	7,00	3,75	3,00	1,50	1,00	3,3 ± 3,3

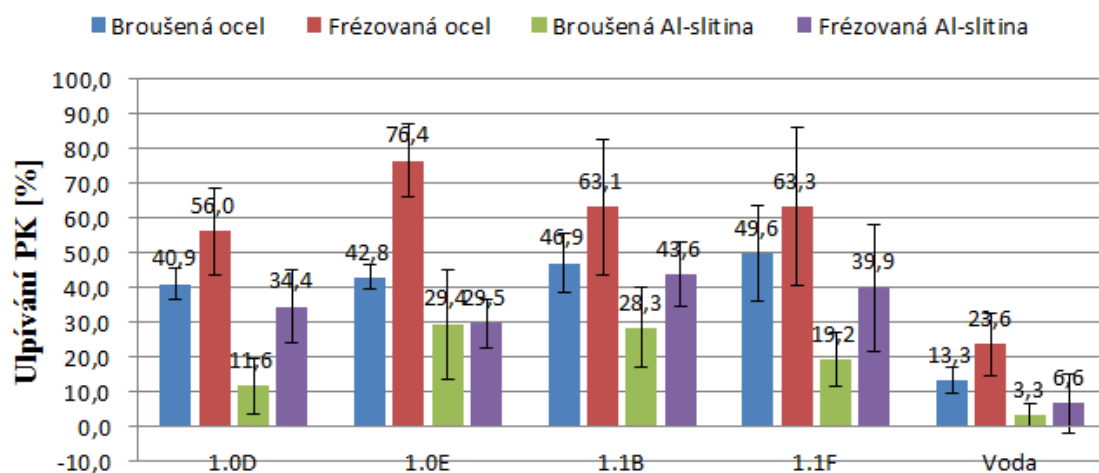


Frézovaná Al-slitina ČSN 42 4254

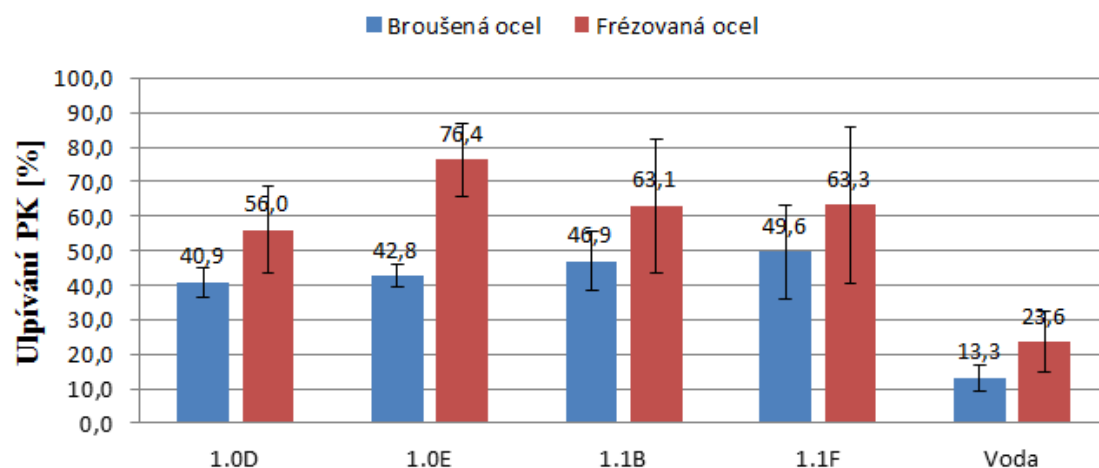
PK	Číslo měření					Statistický interval spolehlivosti [%]
	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	5 [%]	
1.0D	33,50	21,75	41,00	38,00	37,75	34,4 ± 10,5
1.0E	29,50	31,00	36,25	27,75	22,75	29,5 ± 6,8
1.1B	53,75	41,00	37,25	39,25	46,75	43,6 ± 9,3
1.1F	31,75	39,00	34,50	31,50	62,75	39,9 ± 18,2
Voda	16,75	7,25	4,75	3,00	1,00	6,6 ± 8,5



Ulpívání PK na zkušebních vzorcích



Ulpívání PK na zkušebních vzorcích z oceli



Ulpívání PK na zkušebních vzorcích z Al-slitiny

